



การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

Ohmic heating

นายฉัตรมงคล	จันทร์คำจร	รหัสนิสิต 59360877
นายพีรพงษ์	พรมชุม	รหัสนิสิต 59363854
นายภาณุกร	กอนีก	รหัสนิสิต 59364127

โครงร่างปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2562



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายฉัตรมงคล	จันทร์คำจร	รหัสனிสิต 59360877
	นายพีรพงษ์	พรมชুম	รหัสனிสิต 59363854
	นายภาณุกร	กอนนี่ก	รหัสனிสิต 59364127
ที่ปรึกษาโครงการงาน	รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2562		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงการงาน
(รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ
(รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ)

.....กรรมการ
(ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์)

หัวข้อโครงการ : การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก
ผู้ดำเนินโครงการ : นายฉัตรมงคล จันทร์คำจร รหัสสนิสิต 59360877
นายพีรพงษ์ พรหมชุม รหัสสนิสิต 59363854
นายภาณุกร กองนีก รหัสสนิสิต 59364127
อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2562

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (Ohmic heating) และการลดระยะเวลาในการแปรรูปอาหาร ซึ่งวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกเป็นวิธีการให้ความร้อนโดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้าโดยให้กระแสไฟฟ้าผ่านวัตถุที่ต้องการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดความร้อนจากข้างในวัตถุออกมา โดยทำการศึกษาแรงดันไฟฟ้าที่ 200 220 และ 240 โวลต์และเวลาในการทดลอง 20 25 และ 30 นาที มีผลต่อคุณลักษณะและการดูดซับของเมล็ดข้าวของข้าวสายพันธุ์ สาวไห้ 35% โดยกำหนดอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 1:2.5 และ 1:3 จากการวิเคราะห์ที่ได้พบว่า ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์และเวลา 20 นาที โดยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2.5 ให้ค่าดัชนีการหุงได้ใกล้เคียงกับวิธีหุงข้าวแบบปกติที่สุดและให้ค่ากระแสไฟฟ้าน้อยที่สุด เมื่อแรงดันไฟฟ้าและเวลาเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนอัตราส่วนข้าวต่อน้ำส่งผลให้ค่าดัชนีการหุงลดลง

Project Title : Ohmic heating
Name : Mr. Chatmongkol Jankamjorn
Mr. Peerapong Promchum
Mr. Panukorn Kongnuk
Project Advisor : Assoc.Prof.Dr. Patomsok Wilaipon
Academic Year : 2019

Abstract

This project was aimed to study and develop a laboratory-scaled ohmic-heating apparatus for cooking 35% Sao Hai rice. Ohmic heating may be defined as a heating method which based on the electrical resistance principles, electric current directly flows through the object leading to internal heat generating inside the rice. In this study, the voltage, heating period were varied at three levels, 200, 220 and 240 volts as well as 20, 25 and 30 minutes respectively. In addition, three levels of rice to water ratio ,1:2, 1:2.5 and 1:3, were also studied in this research. The effects of these three parameters on cooking index and water adsorption of Sao Hai were investigated. As compared to conventional cooking method, it was found that the 1:2.5 rice/water ratio, 200 V and 20 min condition showed the closest cooking index value as compared to that of conventional cooking method. Besides, it showed that the index values decreased as the voltage and heating time increased.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้ดำเนินงาน ต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินโครงการ ตลอดจนติดตามประเมินผลการดำเนินโครงการมาโดยตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ผู้ดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูและสั่งสอนจนกระทั่งสามารถเติบโตมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนช่วยอุปการะทางการเงินและคอยให้กำลังใจ จนกระทั่งโครงการนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอขอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงการนี้ แต่ผู้มิพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงการนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายฉัตรมงคล จันทร์คำจร
นายพีรพงษ์ พรมชุม
นายภานุกร กองนีก

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
บทที่ 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	4
2.1 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก.....	4
2.2 ค่าดัชนีการหุงต้ม (cooking index, CI).....	5
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3	20
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	21
3.2 ขั้นตอนการทดลองคุณลักษณะของเมล็ดข้าว.....	31
3.3 การคำนวณหาค่าดัชนีการหุงข้าว (Cooking index)	34
3.4 ขั้นตอนการทดลองการดูดซับของเมล็ดข้าว	37
บทที่ 4	38
4.1 อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้า เวลา ต่อดัชนีการหุง กระแสไฟ และ ดัชนีการหุง (cooking index) โดย การหุงข้าวด้วยวิธีการ Ohmic heating.....	38

4.2 อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้า เวลา อัตราส่วนข้าวกับน้ำ ต่ออุณหภูมิ กระแสไฟ และดัชนีการหุง (cooking index) โดยการหุงข้าวด้วยวิธีการ Ohmic heating 50

4.3 การดูดซับของเมล็ดข้าว 55

บทที่ 5 57

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 57

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 58

เอกสารอ้างอิง Error! Bookmark not defined.

ภาคผนวก ก..... 60

ประวัติผู้จัดทำโครงการ 70



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 3.1 สเปคของหม้อแปลงแบบปรับค่าได้	22
ตารางที่ 3.2 สเปคของกล่องวัดอุณหภูมิ REX-C100FK02-V*AN	24
ตารางที่ 3.3 สเปคของกล่องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	26
ตารางที่ 3.4 สเปคของกล่องจุลทรรศน์	30
ตารางที่ 3.5 ข้อมูลการทดลองและค่าดัชนีการหุง	34



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 (a) โลหะ 2 แผ่นวางขนานกัน (b) สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนาน	4
รูปที่ 2.2 แผนผังระบบการให้ความร้อนโอห์มมิก	6
รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการหุงข้าวโดยโอห์มมิก (ซ้าย) และวิธีปกติ (ขวา)	7
รูปที่ 2.4 แผนผังโอห์มมิกเซลล์รูปทรงตัวที่	8
รูปที่ 2.5 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลภายในโอห์มมิก	8
รูปที่ 2.6 แผนผังการทดลอง Ohmic heater	9
รูปที่ 2.7 Ohmic heater	10
รูปที่ 2.8 ซีวอิเล็กทรอนิกส์หลังการทดลอง	10
รูปที่ 2.9 แผนผังการทดลองระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก	11
รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงค่า PH ของน้ำทับทิมที่ค่าแรงดันไฟฟ้าต่างๆ	12
รูปที่ 2.11 แผนผังระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก	12
รูปที่ 2.12 อุณหภูมิระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกและความแตกต่างแรงดันไฟฟ้า	13
รูปที่ 2.13 ระบบเครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิกและการเก็บข้อมูล	14
รูปที่ 2.14 Jackted เครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิก	14
รูปที่ 2.15 สภาพการนำไฟฟ้าของสตรอเบอร์รี่ที่ความแตกต่างสนามไฟฟ้า	15
รูปที่ 2.16 แผนผังการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก	15
รูปที่ 2.17 แผนภาพของระบบโอห์มมิก	16
รูปที่ 2.18 แผนภาพโอห์มมิกเซลล์	17
รูปที่ 2.19 โอห์มมิกเซลล์	18
รูปที่ 2.20 แผนภาพของระบบโอห์มมิก	18
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานและการทดลอง	20
รูปที่ 3.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)	22
รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล	23
รูปที่ 3.4 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล	23
รูปที่ 3.5 กล้องวัดอุณหภูมิ	24
รูปที่ 3.6 เทอร์โมคัปเปิล Type K	25
รูปที่ 3.7 กล้องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	26
รูปที่ 3.8 กระจกตวง	27
รูปที่ 3.9 เทฟลอนแผ่น	28
รูปที่ 3.10 โอห์มมิกเซลล์	28

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 3.11 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์	29
รูปที่ 3.12 กาว LOCTITE469 และน้ำยาเตรียมผิว LOCTITE770	29
รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์	30
รูปที่ 3.14 สีสันอาหาร	31
รูปที่ 3.15 การชั่งน้ำหนักข้าวก่อนการทดลอง	31
รูปที่ 3.16 การวัดขนาดความกว้างและความยาวก่อนหุง	32
รูปที่ 3.17 การชั่งน้ำหนักข้าวหลังหุง	33
รูปที่ 3.18 การวัดขนาดความกว้างและความยาวหลังหุง	33
รูปที่ 3.19 เมล็ดข้าวที่ขยายโดยกล้องจุลทรรศน์	37
รูปที่ 4.1 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที	38
รูปที่ 4.1 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที	39
รูปที่ 4.2 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 25 นาที	39
รูปที่ 4.2 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 25 นาที	40
รูปที่ 4.3 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 30 นาที	40
รูปที่ 4.3 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 30 นาที	41
รูปที่ 4.4 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลา 20 นาที	41
รูปที่ 4.4 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลา 20 นาที	42
รูปที่ 4.5 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลา 25 นาที	42
รูปที่ 4.5 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลา 25 นาที	43
รูปที่ 4.6 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลา 30 นาที	43
รูปที่ 4.6 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลา 30 นาที	44
รูปที่ 4.7 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลา 20 นาที	44
รูปที่ 4.7 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลา 20 นาที	45
รูปที่ 4.8 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลา 25 นาที	45
รูปที่ 4.8 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลา 25 นาที	46
รูปที่ 4.9 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลา 30 นาที	46
รูปที่ 4.9 (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลา 30 นาที	47
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบแนวโน้มของอุณหภูมิที่แรงดันไฟฟ้า 200 220 และ 240 โวลต์	48
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบแนวโน้มของกระแสไฟที่แรงดันไฟฟ้า 200 220 และ 240 โวลต์	48

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบดัชนีการหุง (cooking index) หุงด้วยวิธีปกติกับหุงด้วยวิธี Ohmic heating	49
รูปที่ 4.13 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลาที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2	50
รูปที่ 4.14 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลาที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5	51
รูปที่ 4.15 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลาที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:3	52
รูปที่ 4.16 (a) เปรียบเทียบอุณหภูมิที่อัตราส่วนข้าวกับน้ำต่างกัน (b) เปรียบเทียบกระแสไฟที่อัตราส่วนต่างกัน ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที	53
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบดัชนีการหุง (cooking index) หุงด้วยวิธีปกติกับหุงด้วยวิธี Ohmic heating	54
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบการดูดซึมน้ำแดงของข้าวที่เวลาในการทดลอง 20 นาที	55
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบการดูดซึมน้ำแดงของข้าวที่เวลาในการทดลอง 25 นาที	55
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบการดูดซึมน้ำแดงของข้าวที่เวลาในการทดลอง 30 นาที	56
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบการดูดซึมน้ำแดงเวลาในการทดลอง 30 นาที แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์.....	56
รูปที่ ก-1 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที	61
รูปที่ ก-2 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 25 นาที	61
รูปที่ ก-3 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 นาที	62
รูปที่ ก-4 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที	62
รูปที่ ก-5 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 25 นาที	63
รูปที่ ก-6 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 นาที	63
รูปที่ ก-7 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที	64

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ ก-8 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 25 นาที	64
รูปที่ ก-9 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 นาที	65
รูปที่ ก-10 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที	65
รูปที่ ก-11 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที	66
รูปที่ ก-12 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:3 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที	66
รูปที่ ก-13 อัตราส่วนการขยายตัวของข้าวสุกที่แรงดันไฟฟ้าและเวลาในการทดลองต่างกัน.....	67
รูปที่ ก-14 อัตราส่วนการยืดตัวของข้าวสุกที่แรงดันไฟฟ้าและเวลาในการทดลองต่างกัน	67
รูปที่ ก-15 อัตราส่วนการอุ้มน้ำของข้าวสุกที่แรงดันไฟฟ้าและเวลาในการทดลองต่างกัน	68
รูปที่ ก-16 อัตราส่วนการขยายตัวของข้าวสุกที่อัตราส่วนข้าวกับน้ำในการทดลองต่างกัน	68
รูปที่ ก-17 อัตราส่วนการยืดตัวของข้าวสุกที่อัตราส่วนข้าวกับน้ำในการทดลองต่างกัน	69
รูปที่ ก-18 อัตราส่วนการอุ้มน้ำของข้าวสุกที่อัตราส่วนข้าวกับน้ำในการทดลองต่างกัน	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันการให้ความร้อนเพื่อแปรรูปอาหารนั้นเป็นที่นิยมมากวิธีหนึ่งเพราะการให้ความร้อนเพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์และเชื้อจุลินทรีย์ภายในอาหารเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเน่าเสียหรืออาหารมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นลง ในการแปรรูปอาหารส่วนมากจะใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ที่เกิดจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันความร้อนจะถ่ายเทจากอุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำ การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ 3 วิธี ดังนี้ การนำความร้อน (Conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำมีตัวกลางเป็นของแข็งอยู่กับที่ การพาความร้อน (Convection) คือการถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของไหลที่มีอุณหภูมิต่างกันมีของไหลเป็นตัวกลาง การแผ่รังสี (Radiation) คือการถ่ายเทความร้อนอวกาศโดยไม่มีตัวกลาง ในการแปรรูปอาหารโดยวิธีข้างต้นใช้เวลายาวนานส่งผลให้คุณภาพและคุณลักษณะของอาหารเสียหาย การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเวลานานทำให้เกิดตะกอนที่ผิวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงและยังทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการแปรรูปอาหารจึงมีแนวคิดในการแก้ไขปัญหาโดยปรับเปลี่ยนวิธีการให้ความร้อนที่ใช้เวลาไม่นานและทำให้คุณภาพของอาหารเสียหายน้อยลง

การให้ความร้อนโดยวิธีการโอห์มมิก (Ohmic heating) เป็นการสร้างความร้อนจากภายในอาหารด้วยการผ่านกระแสไฟฟ้าสลับไปยังอาหารซึ่งกระแสไฟฟ้านั้นเองทำให้เซลล์อาหารเกิดการสั่นและเสียดสีกันด้วยเหตุผลนี้เองทำให้เกิดความร้อนจากภายในของอาหารขึ้น วิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก นี้ทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดความร้อนพร้อมกันทุกจุดภายในตัวของอาหาร ส่งผลให้กระบวนการนี้ได้ลดเวลาในการให้ความร้อนเพื่อแปรรูปอาหารและปัญหาการให้ความร้อนไม่ทั่วถึงภายในอาหาร รวมถึงลดการสูญเสียคุณลักษณะโภชนาการของอาหารนอกจากนี้ยังช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงานในกระบวนการแปรรูปอาหารอีกด้วย ซึ่งปัจจุบันวิธีการโอห์มมิก ถูกประยุกต์ใช้ใน

การแปรรูปอาหารเช่น การพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) การสเตอริไลซ์ (Sterilization)

พร้อมวัสดุที่นำมา ทดสอบ									
3. สร้างเครื่องการให้ ความร้อนแบบโอห์มมิก									
4. ทดสอบการให้ความ ร้อนกับวัสดุ									
5. สรุปผลการ ดำเนินงานและจัดทำ รูปเล่มปริญญานิพนธ์									

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 สามารถนำหลักการโอห์มมิกไปพัฒนาต่อในอนาคต
- 1.6.2 ได้ศึกษาและวิเคราะห์หลักการโอห์มมิก
- 1.6.3 ได้ข้อมูลแนวทางการเพิ่มคุณภาพของอาหารจากการแปรรูปด้วยวิธีการโอห์มมิก



บทที่ 2

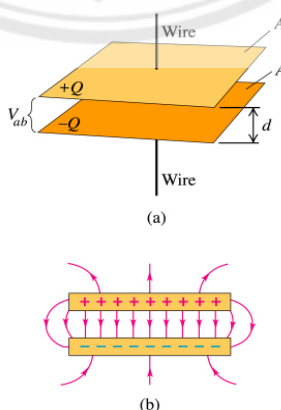
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกเกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอาหารและเกิดการต้านทานของกระแสไฟฟ้าภายในอาหารจนเกิดเป็นความร้อนสูงจากภายในตัวอาหาร ชนิดของอาหารที่เหมาะสมกับการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกควรเป็นอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงรวมไปถึงปริมาณเกลือและความเข้มข้นของอาหารก็เป็นปัจจัยที่สำคัญ เนื่องจากปริมาณเกลือช่วยเสริมความสามารถในการนำไฟฟ้าในอาหารเกิดจากเกลือซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการแตกตัวของประจุไอออนภายในอาหารและความเข้มข้นช่วยเพิ่มพื้นที่การไหลของกระแสไฟฟ้า โดยอาหารที่มีปริมาณความเข้มข้นของเกลือมากจะเกิดความร้อนในอัตราที่สูงกว่าอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือต่ำ นอกจากนี้ความเป็นเนื้อเดียวกันของอาหารก็ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดความร้อนของอาหารเนื่องจากอาหารเหลวสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุได้จึงทำให้สัมผัสกับขั้วอิเล็กโทรด (Electrode) ได้อย่างเต็มพื้นที่ ดังนั้นการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกควรคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาด้วย

2.1.1 สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน

มีแผ่นตัวนำโลหะ 2 แผ่นวางขนานกัน เมื่อทำให้แผ่นหนึ่งมีประจุไฟฟ้า $+Q$ และอีกแผ่นหนึ่งมีประจุไฟฟ้า $-Q$ จะมีสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นทั้งสอง [1]



รูปที่ 2.1 (a) โลหะ 2 แผ่นวางขนานกัน (b) สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนาน

ที่มา: physicskruadd,2012

การหาขนาดไฟฟ้าสม่ำเสมอหาได้จากสมการ

$$E = \frac{V}{d} \quad \text{.....(2.1)}$$

โดยที่ E คือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมีหน่วย V/m

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นตัวนำขนานมีหน่วย V

d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานมีหน่วย m

2.2 ค่าดัชนีการหุงต้ม (cooking index, CI)

$$CI = \frac{V_{ER} \times L_{ER} \times W_{UR}}{C_T} \quad \text{.....(2.2)}$$

โดยที่ V_{ER} คือ อัตราส่วนการขยายตัวของข้าวสุก

L_{ER} คือ อัตราส่วนการยืดตัวของข้าวสุก

W_{UR} คือ อัตราส่วนการอุ้มน้ำของข้าวสุก

C_T คือ ระยะเวลาหุงต้ม

$$\text{อัตราการขยายตัว} = \frac{\sum X_L - \sum Y_L}{\sum Y_L} \times 100 \quad \text{.....(2.3)}$$

โดยที่ X_L คือ ความยาวสะสมของเมล็ดข้าวก่อนหุง 10 เมล็ด

Y_L คือ ความยาวสะสมของเมล็ดข้าวหลังหุง 10 เมล็ด

$$\text{อัตราการยืดตัวของข้าวสุก} = \frac{\bar{Y}_W}{\bar{X}_W} \quad \text{.....(2.4)}$$

โดยที่ \bar{Y}_W คือ ความกว้างเฉลี่ยของเมล็ดข้าวก่อนหุง 10 เมล็ด

\bar{X}_W คือ ความกว้างเฉลี่ยของเมล็ดข้าวหลังหุง 10 เมล็ด

$$\text{อัตราส่วนการอุ้มน้ำของข้าวสุก} = \frac{W_c - W_{uc}}{W_{uc}} \times 100 \quad \dots(2.5)$$

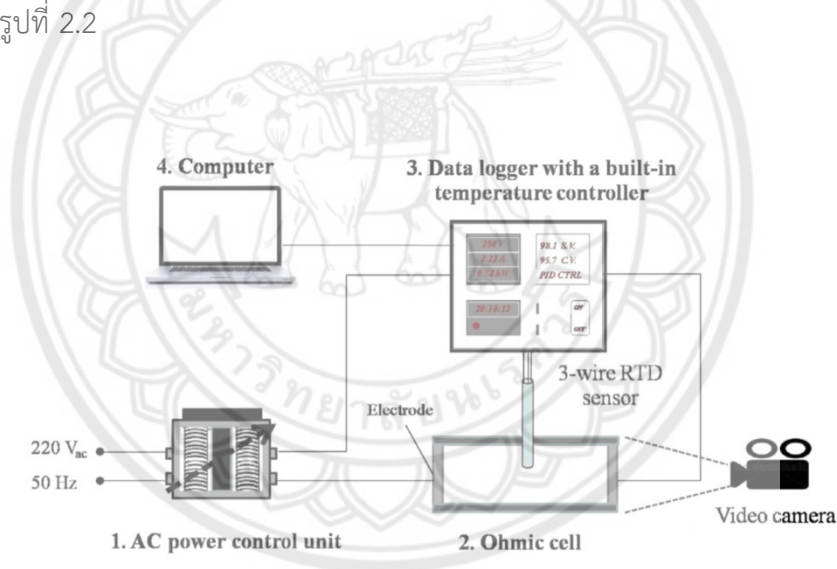
โดยที่ W_c คือ น้ำหนักข้าวก่อนหุง

W_{uc} คือ น้ำหนักข้าวหลังหุง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

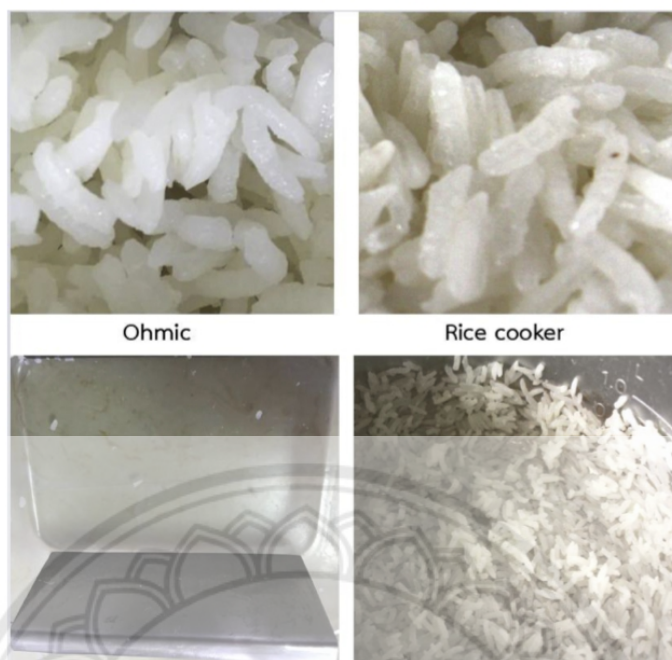
2.3.1 การหุงข้าวด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

การหุงข้าวด้วยวิธีการโอห์มมิกถูกทดลองโดย Kobsak Kanjanapongkul (2017) ซึ่งการทดลองนี้ผู้ทำการทดลองได้นำข้าวหอมมะลิมาใช้ในการทดลอง โดยข้าวหอมมะลิถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C และนำมาผสมกับน้ำเปล่าเพื่อรหุงด้วยวิธีโอห์มมิกสำหรับการจัดเตรียมระบบโอห์มมิกถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังระบบการให้ความร้อนโอห์มมิก
ที่มา: Kobsak Kanjanapongkul, 2017

โดยระบบโอห์มมิกประกอบด้วย หม้อแปลงปรับแรงดันไดโอดโอห์มมิกเซลล์แบบสี่เหลี่ยม Data logger ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 3-wire RTD sensor ขั้วอิเล็กโทรดและตัวควบคุมอุณหภูมิที่ทำงานในโหมด On-Off ซึ่งมีความละเอียดอยู่ที่ ± 0.1 °C โดย RTD sensor ถูกวางที่ตำแหน่งตรงกลางของโอห์มมิกเซลล์และทำการให้ความร้อนจากอุณหภูมิห้องถึง 100 °C ภายใต้สนามไฟฟ้าคงที่ที่ 20 V/cm

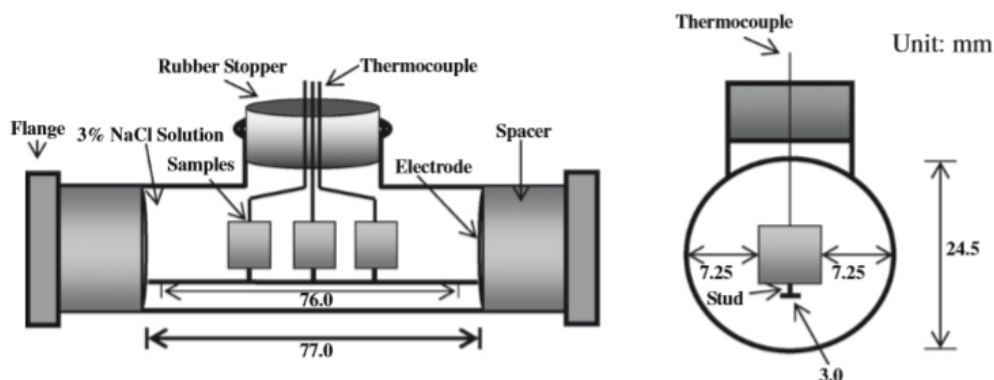


รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการหุงข้าวโดยโอห์มมิก (ซ้าย) และวิธีปกติ (ขวา)
ที่มา: Kobsak Kanjanapongkul, 2017

จากรูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบการหุงข้าวแบบวิธีปกติและการหุงข้าวแบบโอห์มมิก ซึ่งเห็นได้ว่าการหุงแบบโอห์มมิกภาชนะที่ใส่ข้าวจะมีข้าวที่ไหม้ติดอยู่ที่ก้นของภาชนะแต่การหุงข้าวแบบปกติจะมีข้าวที่ไหม้ติดอยู่ที่ภาชนะ เนื่องจากการหุงแบบปกติมีการให้ความร้อนจากก้นภาชนะขึ้นมา เมื่อมีการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องข้าวที่ด้านล่างสุกก่อนข้าวที่อยู่ด้านบนและกว่าที่ข้าวด้านบนจะสุก ข้าวที่อยู่ด้านล่างเริ่มมีการไหม้และติดอยู่ที่ก้นภาชนะแต่การหุงแบบโอห์มมิก ความร้อนจะแพร่กระจายจากตรงกลางของภาชนะไปยังรอบๆของภาชนะและความร้อนแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอภายใต้สนามไฟฟ้าที่คงที่จึงทำให้ข้าวสุกพร้อมกันหมดและไม่มีข้าวไหม้ติดอยู่ที่ก้นภาชนะ[3]

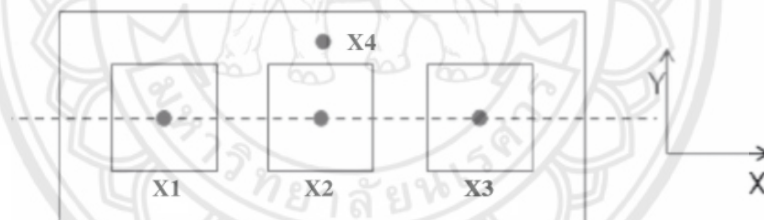
2.3.2 แบบจำลองของรูปแบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

แบบจำลองของรูปแบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกถูกทดลองโดย Jaeyong Shim และคณะ (2010) โดยผู้ทำการทดลองได้นำตัวอย่างอาหาร 3 ชนิดคือ แครอท มันฝรั่งและเนื้อ มาหั่นเป็นลูกเต๋าขนาด 1 นำมาบรรจุลงในโอห์มมิกเซลล์รูปตัวทีที่ทำมาจากแก้วทนไฟมีความยาว 140 mm และมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 24.5 mm ซึ่งภายในโอห์มมิกเซลล์ถูกบรรจุด้วยสารละลาย NaCl 3% ดังที่แสดงในรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แผ่นฝังโหนดไมโครเซลล์รูปทรงตัวที่
ที่มา: Jaeyong Shim และคณะ, 2010

นอกจากนี้ผู้ทำการทดลองใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type-T ในการวัดอุณหภูมิของตัวอย่างอาหารและสารละลาย NaCl ดังรูป 2.5

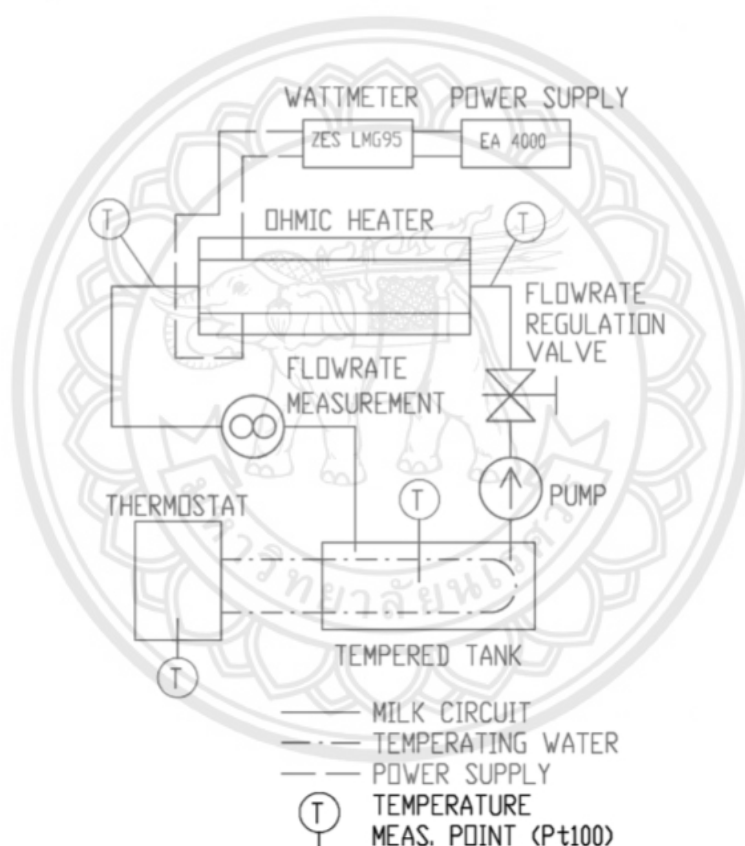


รูปที่ 2.5 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลภายในโหนดไมโคร
ที่มา: Jaeyong Shim และคณะ, 2010

โดยใช้อุณหภูมิในการทดลองที่ 100 °C ผลที่ได้เนื้อและสารละลาย NaCl 3% มีอุณหภูมิเพิ่มเป็นเส้นตรงตามอุณหภูมิโหนดไมโคร แต่แครอทและมันฝรั่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 57 °C และ 52 °C ตามลำดับ โดยทั้ง 3 ตัวอย่างอาหารและสารละลาย NaCl 3% อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าระหว่าง 214 ถึง 890 V/m จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การแพร่ของสนามไฟฟ้ามีการแพร่กระจายที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากแครอทและมันฝรั่งมีส่วนประกอบเป็นแป้งจึงทำให้มีการนำไฟฟ้าที่ต่ำและอุณหภูมิไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของโหนดไมโคร[4]

2.3.3 การเกิดตะกรันของการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกกับนม

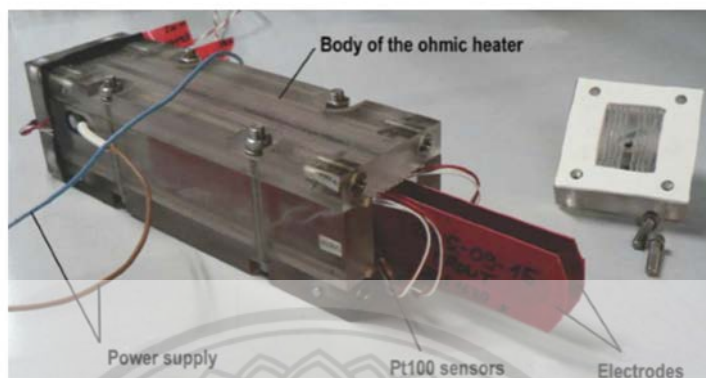
การปนเปื้อนของนมโดยวิธีโอห์มมิกถูกทดลองโดย J. Stancl และ R. Zitny (2010) เป็นการทดสอบการเกิดตะกรันที่ขั้วของอิเล็กโทรด 3 ชนิดคือ Stainless steel a TiN coating และ graphite ที่นำมาทดสอบกับนมโดย Ohmic heater มีความยาว 120 mm และความกว้าง 30 mm มีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดคงที่ที่ 10 mm โดยมีการใช้ PT 100 sensor วัดอุณหภูมิขาเข้าและขาออกจาก Ohmic heater วัดอุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรด และวัดอุณหภูมิของนมภายในถังอุ่น นอกจากนี้ใช้ LMG 95 electronic Wattmeter วัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า ดังรูป 2.6



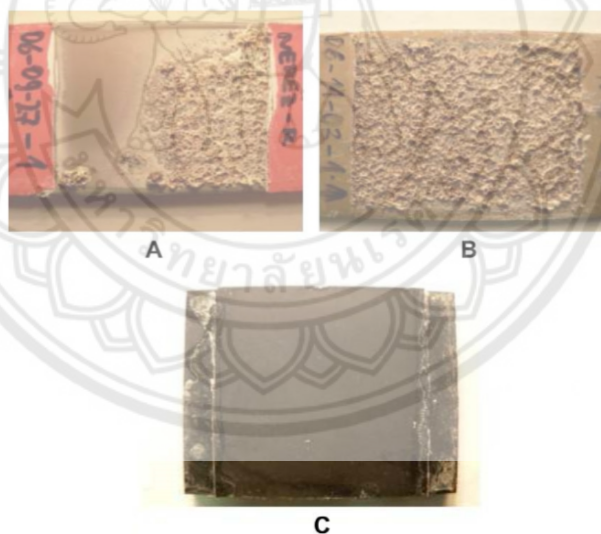
รูปที่ 2.6 แผนผังการทดลอง Ohmic heater
ที่มา: J. Stancl และ R. Zitny, 2010

โดยการทดสอบทำที่อัตราการไหลแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 44 37 และ 20 m/s ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ค่าคือ 65 70 และ 75 °C และที่กระแสแตกต่างกัน 3 ค่าคือ 2083 2500 และ 3030 A m² โดยช่วงการทดสอบดูจากการลดลงของกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 0.8 A และเมื่อนมมีรอยไหม้ ผลจากการทดสอบขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจาก Stainless steel เกิดตะกรันประมาณครึ่งแผ่นของอิเล็กโทรด ส่วน

อิเล็กโทรดที่ทำจาก Stainless steel a TiN coating เกิดตะกรันทั้งแผ่นและขี้อิเล็กโทรดที่ทำจาก graphite ไม่เกิดตะกรัน ดังรูป2.8[5]



รูปที่ 2.7 Ohmic heater
ที่มา: J. Stancl และ R. Zitny,2010

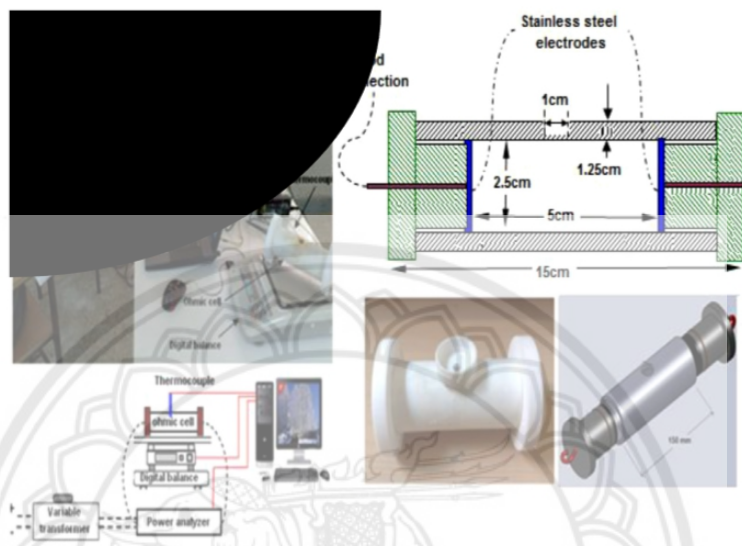


รูปที่ 2.8 ขี้อิเล็กโทรดหลังการทดลอง
ที่มา: J. Stancl และ R. Zitny,2010

2.3.4 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกกับน้ำทับทิม

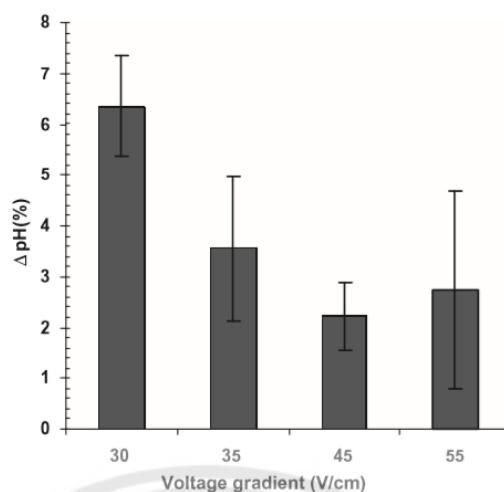
การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกกับน้ำทับทิมถูกทำการทดลองโดย Hosain Darvishi (2013) ผู้ทำการทดลองนำน้ำทับทิมสดที่ได้จากการคั้นลูกทับทิมมาทดลองและนำมาให้ความร้อนแบบโอห์มมิก โดยระบบโอห์มมิกประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟ หม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ เครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและ Microprocessor board ซึ่งโอห์มมิกเซลล์ถูกทำมาจาก Teflon ที่มีรูปทรงเป็น

ทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.5 cm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5 cm และมีความยาว 15 cm ทั้ง 2 ด้านติดอิเล็กโทรดที่ทำมาจาก Stainless steel มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดอยู่ที่ 5 cm โดยมีความจุน้ำทับทิมที่ 26.8 ml ดังแสดงในรูป 2.9



รูปที่ 2.9 แผนผังการทดลองระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก
ที่มา: Hosain Darvishi, 2013

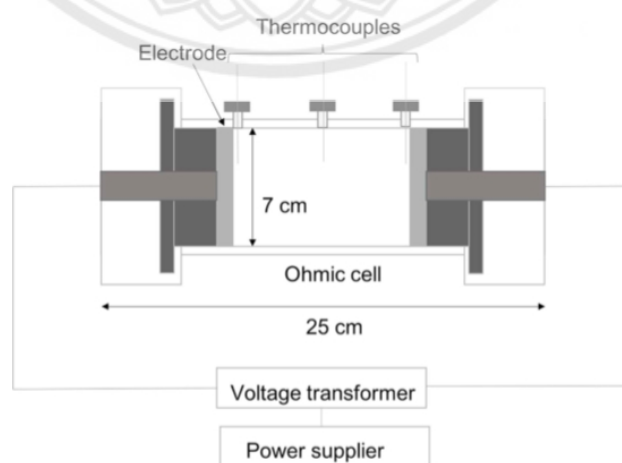
นอกจากนี้ผู้ทำการทดลองได้มีการวัดอุณหภูมิ ของน้ำทับทิมขณะให้ความร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type-K ที่เคลือบด้วย Teflon ซึ่งการทดลองการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกถูกทำที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 30 35 45 และ 55 V/cm ที่ความถี่ 60 Hz จากอุณหภูมิ 20-85 °C และใช้ RS 232 port ต่อกับ Microcomputer ในการแสดงว่าอุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าทุกๆ 1 วินาที ผลการทดลองพบว่าถ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าค่า PH ของน้ำทับทิมมีค่าที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.10[6]



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงค่า PH ของน้ำทับทิมที่ค่าแรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ
ที่มา: Hosain Darvishi,2013

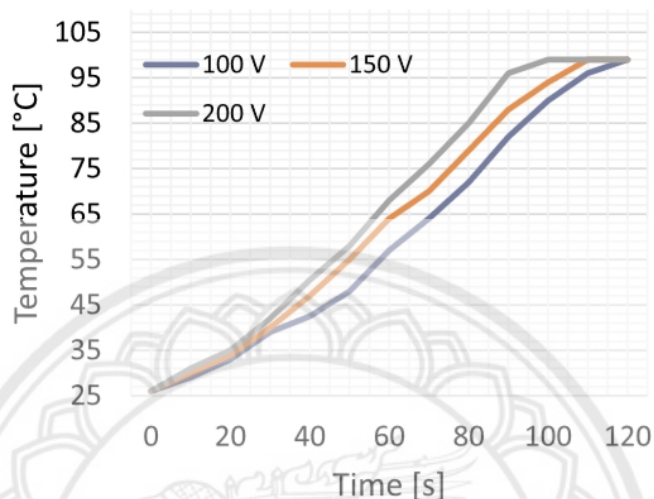
2.3.5 แบบจำลองทางสถิติของการยับยั้งจุลินทรีย์ที่เน่าเสียในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกของน้ำส้มเปรี้ยว

แบบจำลองทางสถิติของการยับยั้งจุลินทรีย์ที่เน่าเสียในระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกของน้ำส้มเปรี้ยวถูกทดลองโดย Seyed Mohammad Bagher Hashemi และคณะ (2019) ผู้ทำการทดลองได้นำน้ำส้มเปรี้ยวที่ถูกคั้นมาจากผลส้มสดและนำมาใส่โอห์มมิกเซลล์ในปริมาณ 500 ml ซึ่งโอห์มมิกเซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7 cm และมีความยาว 25 cm โดยใช้แรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 3 ค่าคือ 100 150 และ 200 V แสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แผนผังระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก
ที่มา: Seyed Mohammad Bagher Hashemi และคณะ,2019

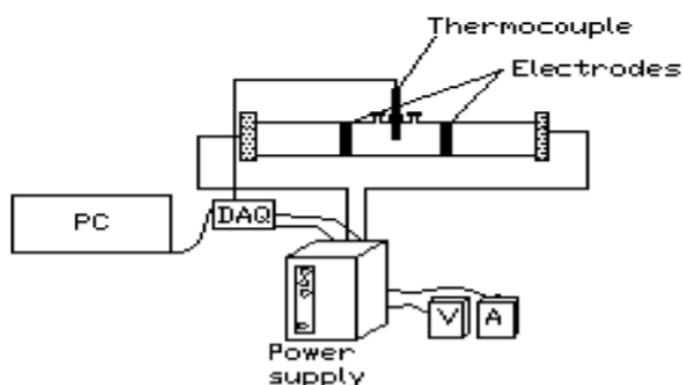
โดยระบบถูกควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 21-86 °C กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 0-16 A แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 0-300 V และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 0-0.054 S/m ซึ่งรูปที่ 2.12 แสดงปริมาณการใช้แรงดันทั้ง 3 ค่า ในการให้ความร้อนกับน้ำส้มเปรี้ยวปริมาณ 500 ml ที่อุณหภูมิ 26-86 °C เป็นระยะเวลา 120 s [7]



รูปที่ 2.12 อุณหภูมิระหว่างการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกและความแตกต่างแรงดันไฟฟ้า
ที่มา: Seyed Mohammad Bagher Hashemi และคณะ, 2019

2.3.6 การให้ความร้อนแก่สตรอเบอร์รี่โดยวิธีการโอห์มมิก

การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกแก่สตรอเบอร์รี่ถูกทดลองโดย I. Castro และคณะ (2004) ผู้ทำการทดลองได้นำสตรอเบอร์รี่มาให้ความร้อนแบบโอห์มมิกโดยระบบประกอบด้วย โอห์มมิกเซลล์มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.3 cm และมีความยาว 30 cm ถูกทำมาจากแก้วและมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก แหล่งจ่ายไฟ Data logger ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิ เทอโมคัปเปิล Type-K ถูกใช้วัดอุณหภูมิโดยถูกติดตั้งตรงกลางของโอห์มมิกเซลล์ดังแสดงรูป 2.13 และรูปที่ 2.14

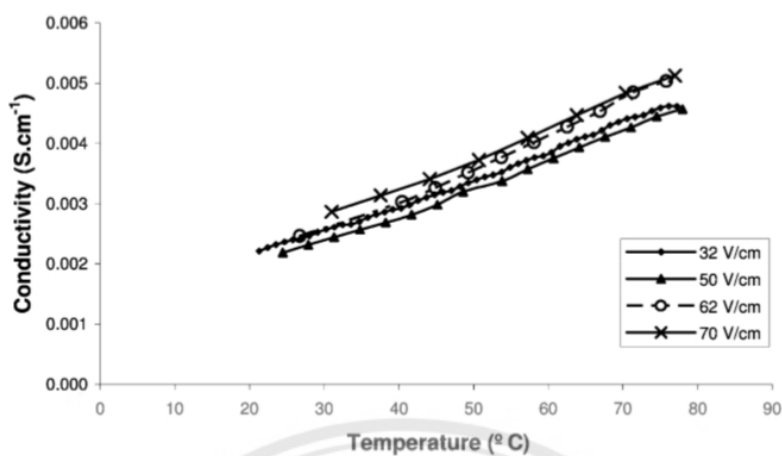


รูปที่ 2.13 ระบบเครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิกและการเก็บข้อมูล
ที่มา: I.Castro และคณะ,2004



รูปที่ 2.14 Jacketed เครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิก
ที่มา: I.Castro และคณะ,2004

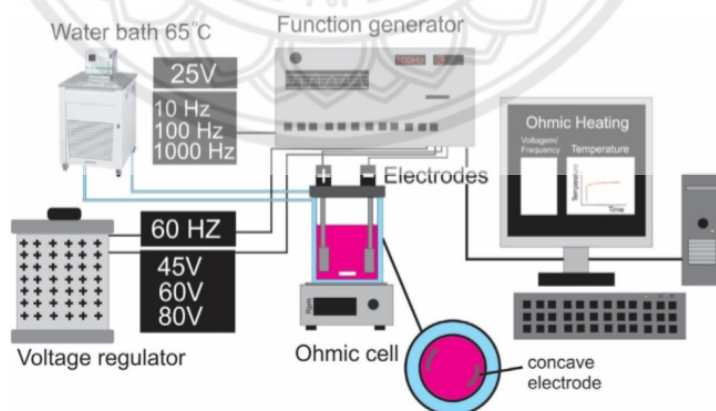
ซึ่งในการทดลองให้อุณหภูมิเพิ่มถึง $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยใช้สนามไฟฟ้าแตกต่างกัน 8 ค่าในระหว่าง 25 ถึง 100 V/cm ที่มีระยะระหว่างอิเล็กโทรดอยู่ที่ 2 cm ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและสนามไฟฟ้าขึ้นค่าความนำทางไฟฟ้าของสตรอเบอร์รี่มีการเปลี่ยนแปลงตรงกับค่าของอุณหภูมิและสนามไฟฟ้า[8]



รูปที่ 2.15 สภาพการนำไฟฟ้าของสโตรเบอร์รี่ที่ความแตกต่างสนามไฟฟ้า
ที่มา: I.Castro และคณะ,2004

2.3.7 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกกับเครื่องต้มเวียราสเบอร์รี่

การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกกับเครื่องต้มเวียราสเบอร์รี่ถูกทดลองโดย Marcus Vinicius S. Ferreira และคณะ (2019) ผู้ทำการทดลองได้นำเครื่องต้มเวียมาผสมกับน้ำและนำมาให้ความร้อนแบบโอห์มมิกโดยระบบประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟ หม้อแปลงปรับค่าได้ เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า (0-220 V) ที่ความถี่ 60 Hz และโอห์มมิกเซลล์ดังรูปที่ 2.16



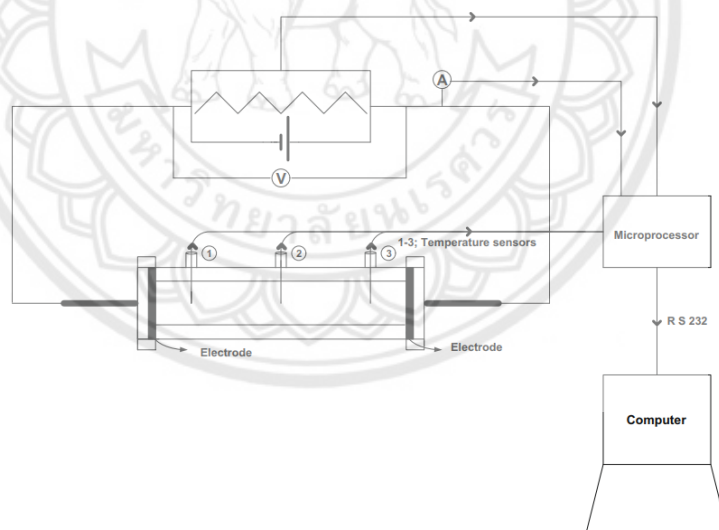
รูปที่ 2.16 แผนผังการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก
ที่มา: Marcus Vinicius S. Ferreira และคณะ,2019

ซึ่งโอห์มมิกเซลล์มีปริมาณ 400 ml และมีอิเล็กโทรดรูปทรงกระบอกที่ทำจาก platinum มีความสูง 5 cm และมีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดอยู่ที่ 7.5 และ 5.7 cm ซึ่งเป็นค่ามากที่สุดและน้อยสุด

ตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งทดลองที่ความถี่แตกต่างกัน 3 ค่าคือ 10 100 และ 1000 Hz ที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ที่ 25 V และที่แรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน 3 ค่าคือ 45 60 และ 80 V ที่ความถี่ 60 Hz จากผลการทดลองพบว่าค่าที่สามารถช่วยเก็บรักษาคุณภาพของเครื่องตีเมเยร์ราสเบอร์รี่อยู่ที่ 10 Hz กับ 25 V และ 1000 Hz และ 25 V[9]

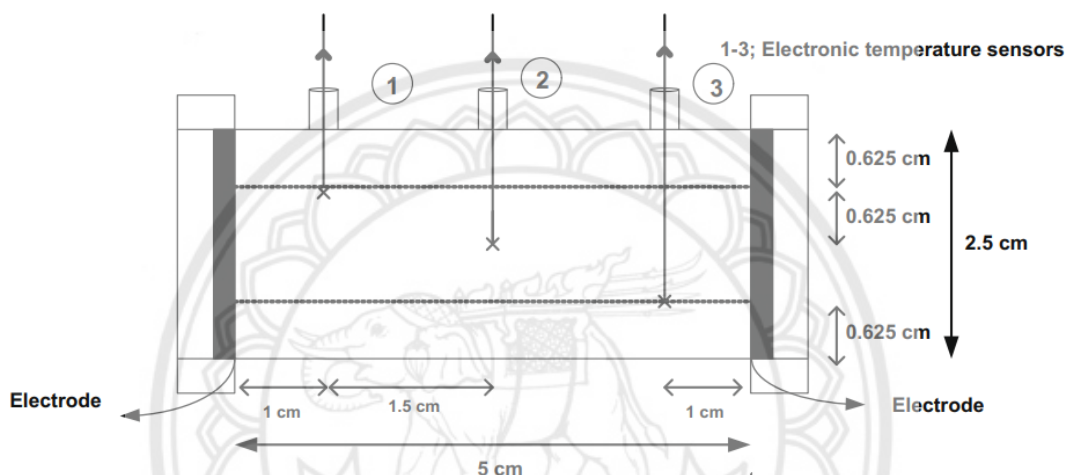
2.3.8 คุณภาพเนื้อบดโดยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

Ohmic cooking of ground beef: Effects on quality ที่ทำการทดลองโดย Hayriye bozkurt และ Filliz Icier (2010) ได้นำตัวอย่างเนื้อวัวไม่มีไขมันที่ได้มาจากร้านค้า ใน Izmir เนื้อสับและไขมันถูกบดรวมกันด้วยเครื่องบดที่มีขนาด 3 mm ซึ่งเนื้อบดและไขมันที่กล่าวมาข้างต้นถูกผสมที่ระดับไขมัน 2% 9% และ 15% ตามลำดับและผสมกันจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำมาทำเป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 m ยาว 0.05 m การทดลองการปรุงอาหารแบบโอห์มมิกมีอุปกรณ์ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายไฟ (power supply) หม้อแปลงปรับค่าได้ (Variable transformer) microprocessor board cooking cell และ คอมพิวเตอร์ (computer) ดังแสดงในรูป 2.17



รูปที่ 2.17 แผนภาพของระบบโอห์มมิก
ที่มา: Hayriye bozkurt และ Filliz Icier, 2010

โอห์มมิเซลล์ทำมาจากวัสดุชนิด pyrex เป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.025 m ยาว 0.2 m และทั้งสองด้านมีขั้วอิเล็กโทรดที่ถอดได้ซึ่งขั้วอิเล็กโทรดทำมาจาก สแตนเลส (stainless steel) มีพื้นที่ผิวเท่ากับ $6.25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ และอุณหภูมิถูกวัดโดย temperature sensor (Omega Eng.,Inc.,Stanford,CT) เคลือบด้วยเทลลอนเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนภายในระบบ สัญญาณอื่นจะถูกพิจารณาโดยโปรแกรมควบคุมของ Microprocessor board ตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิเป็นไปตาม รูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แผนภาพโอห์มมิเซลล์

ที่มา: Hayriye bozkurt และ Filliz Icier, 2010

ซึ่งในทุกช่วงเวลา 1 วินาที Microprocessor board จะรับข้อมูลของอุณหภูมิ กระแสและแรงดันไฟฟ้าส่งไปยังคอมพิวเตอร์ ซึ่งทั้งสามค่านี้จะถูกส่งมาพร้อมกัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างเนื้อมันที่ปริมาณไปมัน 2 % ใส่ไปใน cooking cell ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองและติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลดังแสดงในรูปที่ หลังจากนั้นปิดผนึกจับเวลาและเริ่มให้ความร้อนจนอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 70 °C โดยที่ความเข้มของสนามไฟฟ้าต่างกันดังนี้ 20 30 และ 40 V/cm ที่ความถี่ 50 Hz และวัดอุณหภูมิผิวด้วยเทอร์โมมิเตอร์ (METEX ME-32, Seoul, South Korea) ทำแบบเดียวกันกับเนื้อตัวอย่างที่ผสมไขมัน 9% และ 15% การทดลองทั้งหมดถูกนำไปเปรียบเทียบกับ การปรุงอาหารแบบดั้งเดิม[10]

2.3.9 ผลการให้ความร้อนแบบโอห์มมิต่อการเปลือกมะเขือเทศ

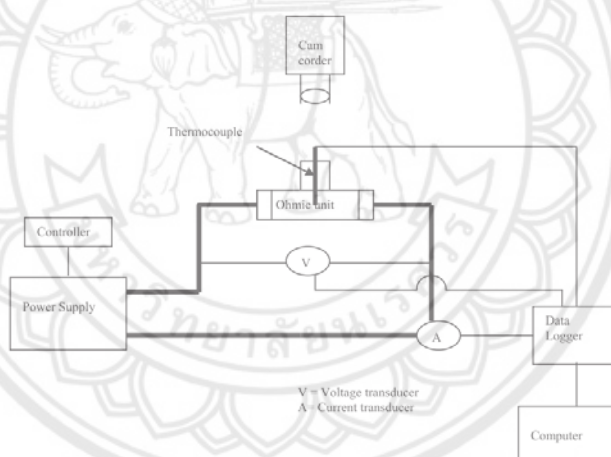
การทดลอง Effect of ohmic heating on tomato peeling ที่ทำการทดลองโดย Pisit Wongsangasri, Sudhir K. Sastry (2015) ซึ่งมีอุปกรณ์ในการทดลองดังนี้ ท่อแก้ว Pyrex รูปตัวที ปลายเปิดมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.051 m ยาว 0.201 m และมีขั้วอิเล็กโทรดทำจากไทเทเนียม

(Titanium) ติดอยู่ที่ปลายทั้งซ้ายและขวาดังรูปที่ 2.19 แหล่งจ่ายไฟ 0-1000 โวลต์ เทอร์โมคัปเปิล Type T ที่เคลื่อนด้วยเทปลอน data logger และคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 โอห์มมิเซลล์

ที่มา: Pisit Wongsangasri, sudhir K. Sastry, 2015



รูปที่ 2.20 แผนภาพของระบบโอห์มมิเซลล์

ที่มา: Pisit Wongsangasri, sudhir K. Sastry, 2015

ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการให้ความร้อนแบบโอห์มมิเซลล์มีผลอย่างไรกับคุณภาพการลอกของมะเขือเทศโดยมีการทดลองทั้งหมดสามการทดลอง การทดลองที่ 1 นำมะเขือเทศใส่ลงไปใน Ohmic unit ที่มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดเท่ากับ 6.2 cm หลังจากนั้นใส่ตัวกลางโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้นและอุณหภูมิเท่ากับ 0.01 g/100 ml 25 °C ตามลำดับสำหรับความเข้มข้นสนามไฟฟ้าเท่ากับ 8060 9680 11300 และ 12900 v/m จากนั้นให้ความร้อนจับเวลาและบันทึกวิดีโอจนผิวของมะเขือเทศแตกจึงหยุดการทดลอง หลังจากนั้นเปลี่ยนความเข้มข้นของตัวกลางเป็น 0.02 g/100 ml อุณหภูมิ 25 °C สำหรับความเข้มข้นสนามไฟฟ้าเท่ากับ 6450 8060 9680 และ 11300 v/m ทำการทดลอง

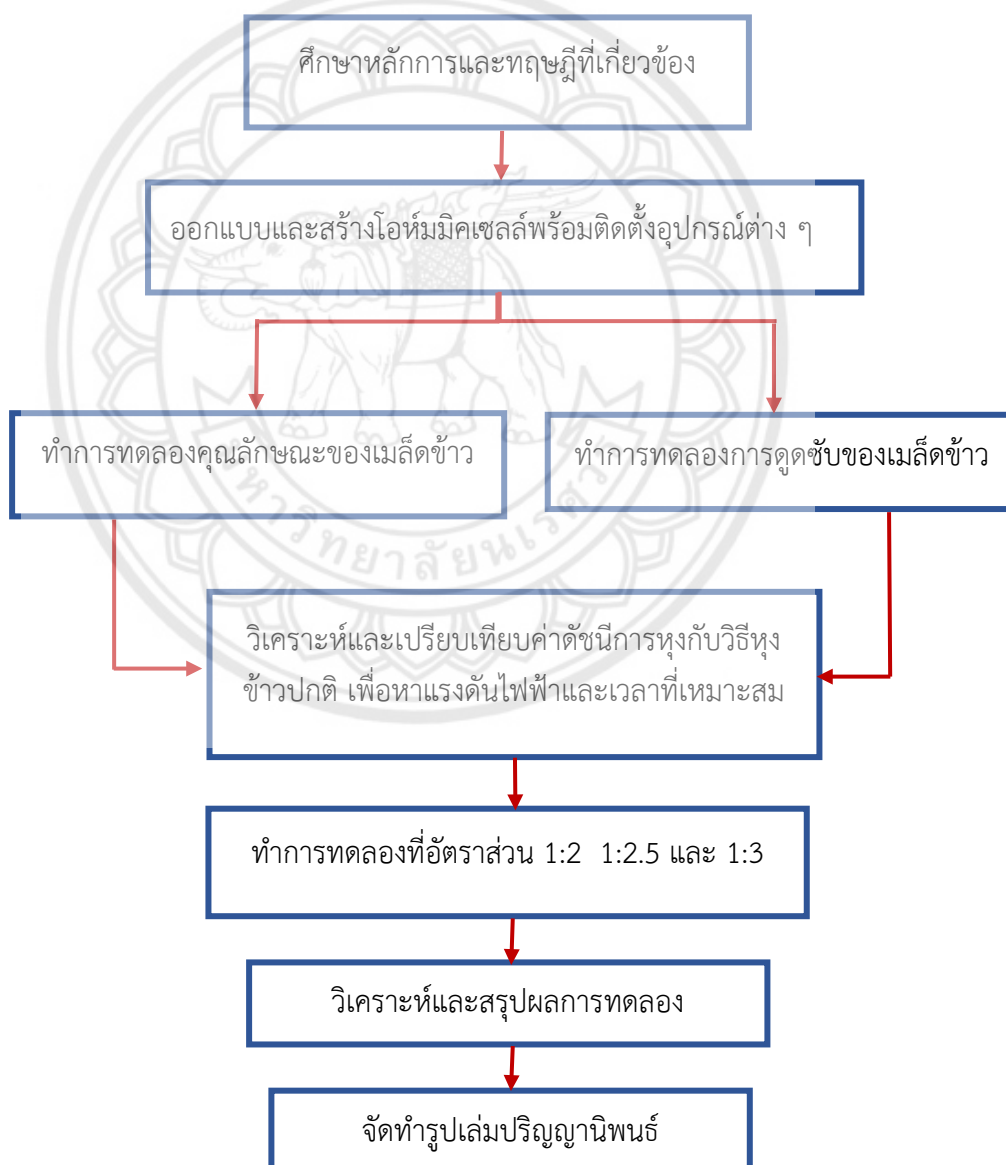
องเหมือนครั้งแรกเมื่อทำการทดลองเสร็จให้ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของตัวกลางเป็น 0.03 g/100 ml อุณหภูมิ 25 °C สำหรับความเข้มสนามไฟฟ้าเท่ากับ 4340 6450 8060 และ 9680 v/m ทำการทดลองเหมือนเดิมอีกครั้ง การทดลองที่ 2 ใช้ความเข้มข้นของตัวกลางเท่ากับ 0.01 g/100 ml และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวกลางเป็น 25 40 50 60 และ 70 °C สำหรับความเข้มสนามไฟฟ้าเท่ากับ 9680 และ 11300 v/m ให้ความร้อนจับเวลาบันทึกวิดีโอเมื่อผิวของมะเขือเทศแตกจึงหยุดการทดลอง การทดลองที่ 3 นำมะเขือเทศพันธุ์เชอรี่ ที่มีขนาดเล็กกว่ามะเขือเทศที่ทำการทดลองที่ 1 และ 2 จำนวน 2 ผล และมีความเข้มข้นและอุณหภูมิของตัวกลางเท่ากับ 0.01 g/100 ml 25 °C ตามลำดับสำหรับความเข้มของสนามไฟฟ้าเท่ากับ 8060 9680 11300 และ 12900 v/m ให้ความร้อน จับเวลาและบันทึกวิดีโอเมื่อผิวของมะเขือเทศแตกจึงหยุดการทดลอง หลังจากนั้นเปลี่ยนมะเขือเทศเป็น 3 ผล เริ่มทำการทดลองเหมือนเดิม ผลของการทดลองพบว่าคุณภาพการลอกของมะเขือเทศที่ดีที่สุดมีค่าความเข้มข้นของตัวกลางเท่ากับ 0.01 g/100 ml ที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเท่ากับ 8060 และ 9680 v/m และที่ความเข้มข้นของตัวกลางเท่ากับ 0.03 g/100 ml ที่ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเท่ากับ 6450 และ 8060 v/m[11]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินโครงการและการทดลองมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานและการทดลอง

การจัดทำเครื่องการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก คณะผู้จัดทำได้ทำรูปแบบการทดลองและวิธีการทดลองการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)
2. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล
3. เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิตอล (Digital Caliper)
4. กล่องวัดอุณหภูมิ
5. เทอร์โมคัปเปิล Type K (Thermocouple)
6. กล่องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
7. กระจกบอทวง
8. เทฟลอนแผ่น (Teflon)
9. แผ่นอิเล็กทรอนิกส์
10. กาวและน้ำยาเตรียมผิว
11. กล่องจุลทรรศน์
12. สีส้มอาหาร

3.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ยี่ห้อ Viva รุ่น TDGC2-2KVA เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญของการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก แปลงไฟฟ้าให้เป็นไฟกระแสสลับเพื่อจ่ายให้อิโหมมิกเซลล์และสามารถแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 250 V ซึ่งหม้อแปลงชนิดนี้ข้อดี คือ จ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าได้คงที่ ตอบสนองการปรับค่าได้ทันที ให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ใกล้เคียงกับหม้อแปลงที่ใช้งานกันทั่ว ๆ ไปและมีประสิทธิภาพสูง



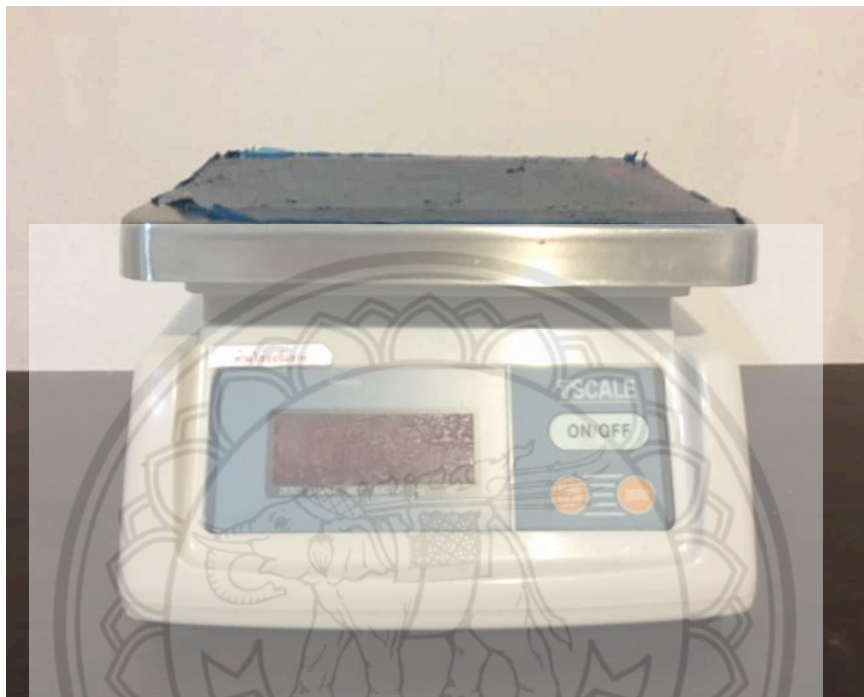
รูปที่ 3.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

ตารางที่ 3.1 สเปคของหม้อแปลงแบบปรับค่าได้

Model	ยี่ห้อ Viva รุ่น TDGC2-2KVA
Input Voltage (V)	220
Output Voltage (V)	0-250
RATE AMP (A)	8
Frequency	50/60
CAPACITY	2

3.1.2 เครื่องชั่งดิจิตอล

เครื่องชั่งแบบดิจิตอลยี่ห้อ T-Scale สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุดถึง 5 กิโลกรัม และมีความละเอียดอยู่ที่ 0.001 กรัม ใช้ในการชั่งน้ำหนักของข้าวก่อนหุงและหลังหุง



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล

3.1.3 เวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบดิจิตอล

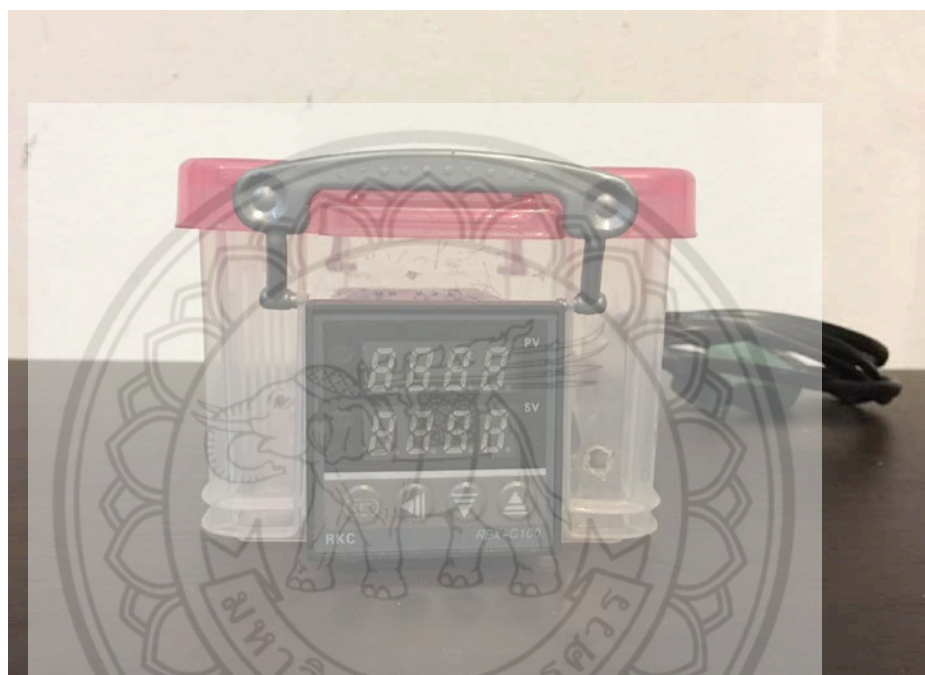
เวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบดิจิตอล ขนาด 300 มิลลิเมตร มีความละเอียดอยู่ที่ 0.01 มิลลิเมตร เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดขนาดความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวก่อนหุงและหลังหุง



รูปที่ 3.4 เวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบดิจิตอล

3.1.4 กล่องวัดอุณหภูมิ

กล่องวัดอุณหภูมิเป็นตัวที่ใช้อ่านค่าอุณหภูมิของน้ำเมื่อทำการทดลองของโอห์มมิคเซลล์ โดยรับค่าความต่างศักย์จากเทอร์โมคัปเปิลแล้วแปลงค่าจากความต่างศักย์เป็นอุณหภูมิองศาเซลเซียสแล้วจึงแสดงผลออกทางจอเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ โดยอุปกรณ์นี้มีความละเอียดที่ 0.1 องศาเซลเซียส และสามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 ถึง 400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.5 กล่องวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.2 สเปคกล่องวัดอุณหภูมิ REX-C100FK02-V*AN

Product model	REX-C100FK02-V*AN
Output	SSR
Dimensions	48x48x110 มิลลิเมตร (APP)
Measuring accuracy	+0.5%FS
Cold-end compensation tolerance	±2 Celsius (can be modified by software in 0-50 Celsius)
Resolution	14 bit
Sampling cycle	0.5 Sec
Output, alarm and self-tuning can be indicated by	LED

Relay output	contact capacity 250V AC 3A (resistive load)
alarm function output	2 way
Contact capacity of output	250V AC 3A (resistive load)
Setting value (SV)	identical to measuring range (PV)
Proportional band (P)	0-full range (ON/OFF control when set to 0)
Detective temperature range	0 to 400 Celsius
Insulation resistance	>50M ohm (500V DC)
Insulation resistance	1500V AC/min
Power Consumption	10 VA
Service environment	0-50 Celsius
Supply	240V 50/60 Hz

3.1.5 เทอร์โมคัปเปิล

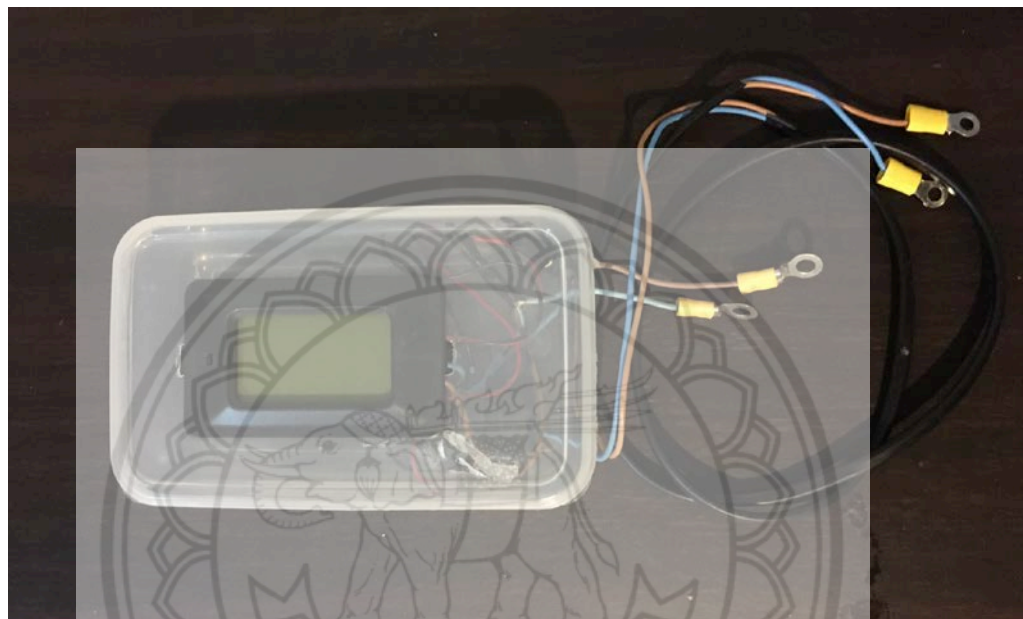
เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในการทดลองเป็น เทอร์โมคัปเปิล Type K เป็นอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำภายในโอห์มมิคเซลล์เมื่อทำการทดลอง โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความร้อนหรืออุณหภูมิให้เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูปที่ 3.6 เทอร์โมคัปเปิล Type K

3.1.6 กล่องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

กล่องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้อ่านค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่โอห์มมิคเซลล์ ซึ่งมีความละเอียดการวัดกระแสอยู่ที่ 0.01 แอมแปร์ ข้อดีของการใช้อุปกรณ์นี้ในการทดลอง คือ แสดงค่าได้แม่นยำ ใช้งานง่ายและสามารถอ่านค่าทางไฟฟ้าได้หลากหลาย



รูปที่ 3.7 กล่องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 3.3 สเปคของกล่องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

Product model	PZEM-021
Dimensions (mm)	85 x 45 x 25
Testing current (A)	0 ~ 20
Testing voltage (V)	80 ~ 260VAC
Testing power (kW)	0 ~ 4.5
Testing energy (kWh)	0 ~ 9999

3.1.7 กระจกตวง

กระจกตวงเป็นอุปกรณ์ใช้วัดปริมาณน้ำตามสัดส่วนของการทดลอง โดยสามารถวัดปริมาณน้ำได้ครั้งละ 100 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.8 กระจกตวง

3.1.8 เทฟลอน

เทฟลอนแผ่นเป็นวัสดุที่ใช้สร้างตัวโอห์มมิคเซลล์โดยใช้ขนาด 100x75x10 mm จำนวน 2 แผ่น 100x85x10 mm จำนวน 2 แผ่น และ 55x85x10 mm จำนวน 2 แผ่น ซึ่งเหตุผลที่ใช้เทฟลอนในการสร้างโอห์มมิคเซลล์เพราะมีราคาที่ถูกกว่าแก้วทนไฟ หาซื้อได้ง่ายทั่วไปและมีการใช้เป็นวัสดุตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามข้อมูลก่อนหน้านี้ โดยเทฟลอนแผ่นมีข้อดี คือ สามารถใช้กับอาหารได้ มีความเสียดทานต่ำมาก สามารถทนต่อตัวทำละลายและสารเคมีได้เกือบทุกชนิด เป็นฉนวนกันไฟฟ้าที่ดีมาก มีพื้นผิวที่ลื่น สามารถทำความสะอาดต่าง ๆ ออกได้ง่าย และที่สำคัญสามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ -200 องศาเซลเซียส ถึง 260 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.9 เทฟลอนแผ่น
ที่มา: myps-group,2014



รูปที่ 3.10 โอห์มมิคเซลล์

3.1.9 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์

การให้ความร้อนโดยวิธีการโอห์มมิคทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้แผ่นสแตนเลสเกรด 316 เพราะสามารถใช้ในการอุตสาหกรรมอาหารได้ ทนต่อการกัดกร่อนได้สูงและกรดอ่อน ๆ ได้ ป้องกันการเกิดสนิมได้ดีและไฟฟ้ากระแสสลับสามารถป้องกันการสีกกร่อนของอิเล็กทรอนิกส์ได้



รูปที่ 3.11 แผ่นอิเล็กทรอนิกส์

3.1.10 กาวและน้ำยาเตรียมผิว

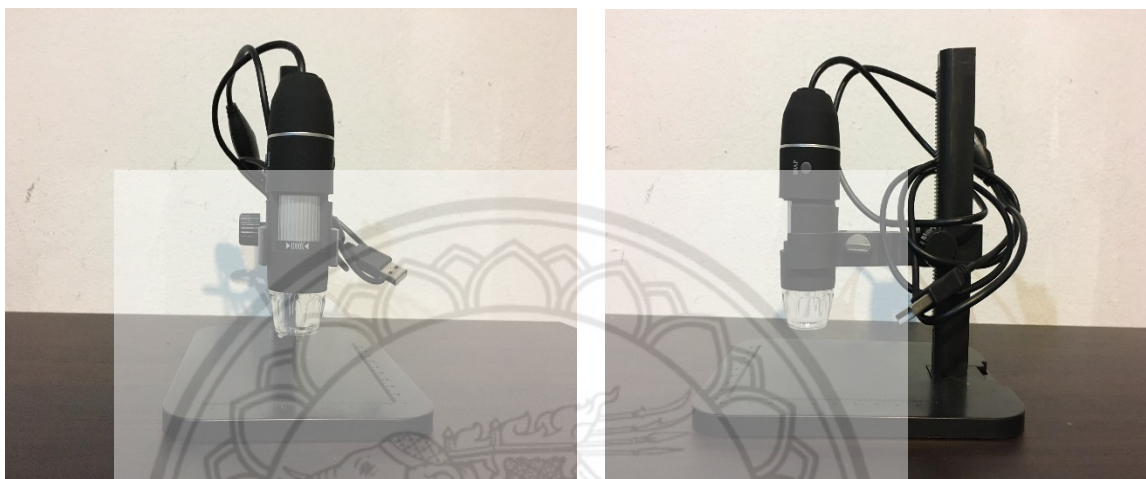
กาวเป็นวัสดุที่ใช้การยึดเทพล่อนในการประกอบโอห์มมิคเซลล์ เลือกใช้กาว LOCTITE 496 เพราะมีคุณสมบัติเป็นกาวแห้งเร็ว เหมาะสำหรับงานปะติดยางพลาสติก Polyolefin และ Elastomers และต้องใช้คู่กับน้ำยาเตรียมผิว LOCTITE 770 เพื่อทำความสะอาดผิวของเทพล่อนก่อนติดกาว



รูปที่ 3.12 กาว LOCTITE469 และน้ำยาเตรียมผิว LOCTITE770

3.1.11 กล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้การบันทึกภาพการดูซ้ำของเมล็ดข้าวที่ผ่านการทดลอง ซึ่งกล้องมีกำลังขยายถึง 1,000 เท่า ข้อดีการเลือกใช้กล้องนี้ คือ ใช้งานได้สะดวก สามารถจับภาพได้ละเอียดและหาซื้อได้ง่ายราคาประหยัด



รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์

ตารางที่ 3.4 สเปคของกล้องจุลทรรศน์

Image Sensor	0.3 M HD CMOS Sensor (Digital 2M)
Controller	High Speed DSP
Lens	Micro-Scope Lens
Focus Range	Manual Focus from 0~200 mm
Snap Shot	Software and Hardware
Video Capture Resolution	640x480
Frame Rate	Max. 30 f/s Under 600 Lux Brightness
Still Image Capture Resolution	1600x1200 (2M Pixel)
Flicker Control	50Hz / 60Hz Option
Magnification Ratio	1000X (Manual)
Power Supply	USB Port (5V DC)
Operation System	WIN XP/VISTA/WIN 7/8 32 Bites & 64 Bites
PC Interface	USB2.0 & USB1.1

3.1.12 สีผสมอาหาร

สีผสมอาหารใช้ในการย้อมสีของข้าวขนานหุงข้าว เพื่อทดลองการดูดซับของเมล็ดข้าว



รูปที่ 3.14 สีผสมอาหาร

3.2 ขั้นตอนทดลองคุณลักษณะของเมล็ดข้าว

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง

3.2.1.1 เตรียมข้าวสาร สาวให้ 35% ที่จะทดลองมาชั่งให้ได้ 100 กรัม



รูปที่ 3.15 การชั่งน้ำหนักข้าวก่อนการทดลอง

3.2.1.2 สุ่มเมล็ดข้าว 10 เมล็ด จากข้าว 100 กรัม เพื่อมาวัดขนาดความกว้างและความยาวของเมล็ดข้าว



รูปที่ 3.16 การวัดขนาดความกว้างและความยาวก่อนหุง

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.2.1 นำข้าวสารที่เตรียมไว้จากขั้นตอนก่อนหน้า บรรจุลงในโอ้หม้มิคเซลล์ที่มีขนาด 265 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมน้ำในอัตราส่วน ข้าว 1 ส่วน ต่อ น้ำ 2.5 พร้อมติดตั้งแผ่นอิเล็กโทรด จากนั้นจึงปิดฝาและติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลตามจุดที่กำหนดไว้

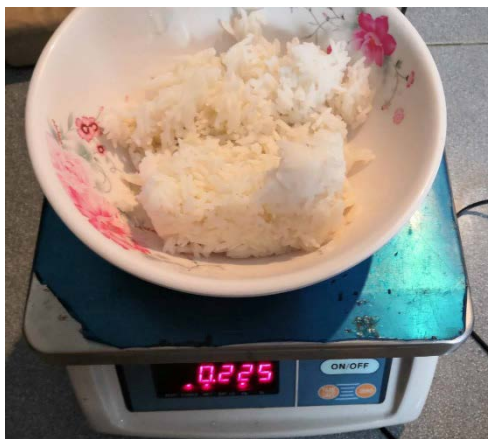
3.2.2.2 ปล่อยกระแสไฟจากหม้อแปลง ที่แรงดัน 3 ค่า คือ 200 220 240 V โดยแต่ละความดันใช้เวลาทดลอง คือ 20 25 30 นาที พร้อมบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิจากการทดลอง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2.2.3 การทดลองซ้ำครั้งที่ 3 ใส่สีผสมอาหารลงในโอ้หม้มิคเซลล์ 1 หยด เพื่อทดสอบการดูดซับของเมล็ดข้าว

3.2.2.4 เปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีหุงข้าวแบบปกติ โดยนำค่าที่บันทึกจากการทดลองมาคำนวณค่าดัชนีการหุง (Cooking index) และเปรียบเทียบกับค่าดัชนีการหุงข้าวแบบวิธีปกติ เพื่อดูว่าการหุงแบบโอ้หม้มิคที่แรงดันไฟฟ้าและเวลาใด ให้ค่าดัชนีที่ใกล้เคียงกับวิธีปกติ จึงเลือกแรงดันไฟฟ้าและเวลาที่ดียที่สุดไปทำการทดลองขั้นต่อไป

3.2.2.5 เมื่อได้ค่าแรงดันไฟฟ้าและเวลาที่เหมาะสมแล้ว เปลี่ยนอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็นอัตราส่วน 1 ต่อ 2 1 ต่อ 2.5 และ 1 ต่อ 3 ตามลำดับจากนั้นจึงทำการทดลองอีกครั้ง ที่แรงดันไฟฟ้าและเวลาที่เลือกมาโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำและครั้งที่ 3 ก็ใส่สีผสมอาหารเหมือนกับข้อที่ 3.2.2.3

3.2.2.6 เมื่อหุงเสร็จแต่ละครั้งนำข้าวที่หุงมาชั่งน้ำหนักหลังหุง



รูปที่ 3.17 การชั่งน้ำหนักข้าวหลังหุง

3.2.2.7 สุ่มเมล็ดข้าวที่หุงเสร็จแต่ละการทดลองจำนวน 10 เมล็ดจากบริเวณกลางหม้อโอห์มิก เพื่อมาวัดขนาดความกว้างและความยาวของเมล็ดข้าวหลังหุง



รูปที่ 3.18 การวัดขนาดความกว้างและความยาวหลังหุง

3.3 การคำนวณหาค่าดัชนีการหุงข้าว (Cooking index)

นำค่าที่ได้จากการทดลองคำนวณหาค่าดัชนีการหุง โดยนำความยาวเมล็ดข้าวมารวมกันและความกว้างของเมล็ดข้าวมาเฉลี่ยกัน ซึ่งข้อมูลการทดลองและค่าดัชนีการหุงแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลการทดลองและค่าดัชนีการหุง

ลำดับการทดลอง	ก่อนหุง			หลังหุง			ดัชนีการหุงวิธีโอห์มมิค
	ความยาวรวม (mm)	ความกว้างเฉลี่ย (mm)	น้ำหนักข้าว(g)	ความยาวรวม (mm)	ความกว้างเฉลี่ย (mm)	น้ำหนักข้าว(g)	
200 V 20 นาที	74.32	1.85	100	112.08	2.26	215	356.76
200 V 25 นาที	72.89	1.74	100	103.19	2.19	231	274.71
200 V 30 นาที	76.07	1.85	100	105.76	2.27	210	175.62
220 V 20 นาที	76.41	1.80	100	98.55	2.33	222	228.30
220 V 25 นาที	74.46	1.76	100	92.89	2.10	198	115.80
220 V 30 นาที	75.73	1.81	100	101.20	2.15	195	126.89
240 V 20 นาที	73.24	1.76	100	97.35	2.20	193	191.08
240 V 25 นาที	76.66	1.78	100	92.38	2.23	186	88.30
240 V 30 นาที	70.78	1.76	100	92.86	2.14	183	104.97
220 V 25 นาที	76.84	1.74	100	93.68	2.26	203	117.64
220 V 30 นาที	74.92	1.72	100	100.10	2.12	200	138.29
220 V 20 นาที	75.50	1.76	100	99.02	2.22	236	268.14

240 V 25 นาที	73.71	1.80	100	94.35	2.25	221	168.75
240 V 30 นาที	77.73	1.78	100	95.02	2.20	225	114.37
240 V 20 นาที	76.32	1.74	100	98.38	2.32	224	238.88
200 V 25 นาที	73.51	1.69	100	101.32	2.16	251	292.24
200 V 30 นาที	73.75	1.74	100	101.62	2.30	245	241.44
200 V 20 นาที	73.05	1.73	100	97.01	2.28	249	321.76
240 V 30 นาที	75.92	1.76	100	92.29	2.24	224	113.65
240 V 20 นาที	72.32	1.69	100	97.40	2.45	218	297.27
240 V 25 นาที	70.93	1.70	100	96.34	2.38	225	251.15
200 V 30 นาที	76.39	1.75	100	96.16	2.35	233	154.07
200 V 20 นาที	72.81	1.79	100	100.51	2.35	249	371.16
200 V 25 นาที	72.71	1.69	100	94.43	2.31	245	235.95
220 V 30 นาที	74.22	1.76	100	92.77	2.24	233	141.25
220 V 20 นาที	75.16	1.71	100	94.84	2.26	240	241.85
220 V 25 นาที	74.93	1.75	100	93.07	2.38	238	181.41

ตัวอย่างการคำนวณ ที่การทดลองแรงดันไฟฟ้า 200 V และเวลา 20 นาที สามารถคำนวณ
ดังนี้

$$V_{ER} = \frac{\text{ความยาวหลังหุง} - \text{ความยาวก่อนหุง}}{\text{ความยาวก่อนหุง}} \times 100$$

$$= \frac{112.08 - 74.32}{74.32} \times 100 = 50.81$$

$$\text{อัตราการยืดตัวของข้าวสุก} = \frac{\text{ความกว้างเฉลี่ยของข้าวสุก10เมล็ด}}{\text{ความกว้างเฉลี่ยของข้าวสาร10เมล็ด}}$$

$$= \frac{2.26}{1.85} = 1.22$$

$$\text{อัตราส่วนการอุ้มน้ำของข้าวสุก} = \frac{W_C - W_{UC}}{W_{UC}} \times 100$$

$$= \frac{215 - 100}{100} \times 100 = 115$$

$$\text{ค่าดัชนีการหุง} CI = \frac{V_{ER} \times L_{ER} \times W_{UR}}{C_T}$$

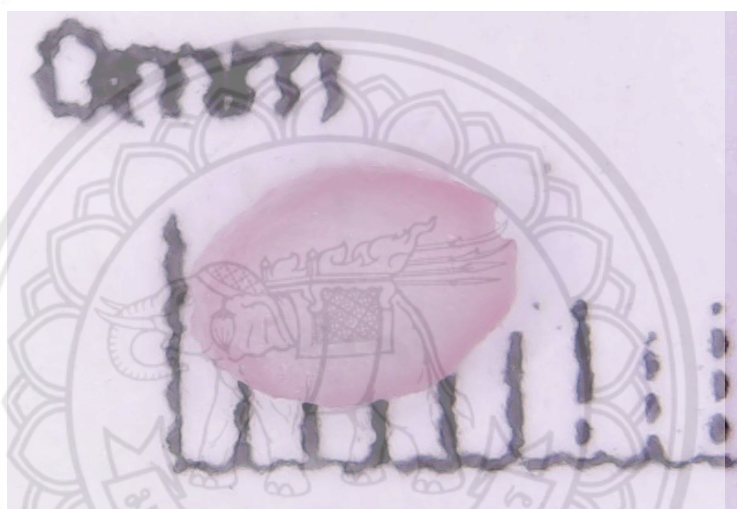
$$= \frac{50.81 \times 1.22 \times 115}{20} = 356.43$$

3.4 ขั้นตอนทดลองการดูซ้ำของเมล็ดข้าว

3.4.1 นำข้าวที่หุงเสร็จจากขั้นตอน 3.3.2.3 มาตัดครึ่งแล้วนำมาขยายและถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูระยะการดูซ้ำของเมล็ดข้าว

3.4.2 นำภาพที่ถ่ายมาวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะการดูซ้ำในโปรแกรม Auto CAD โดยระยะดูซ้ำเริ่มวัดจากขอบของเมล็ดข้าวถึงบริเวณที่มีสีเข้ม

3.4.3 นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผลต่อไป



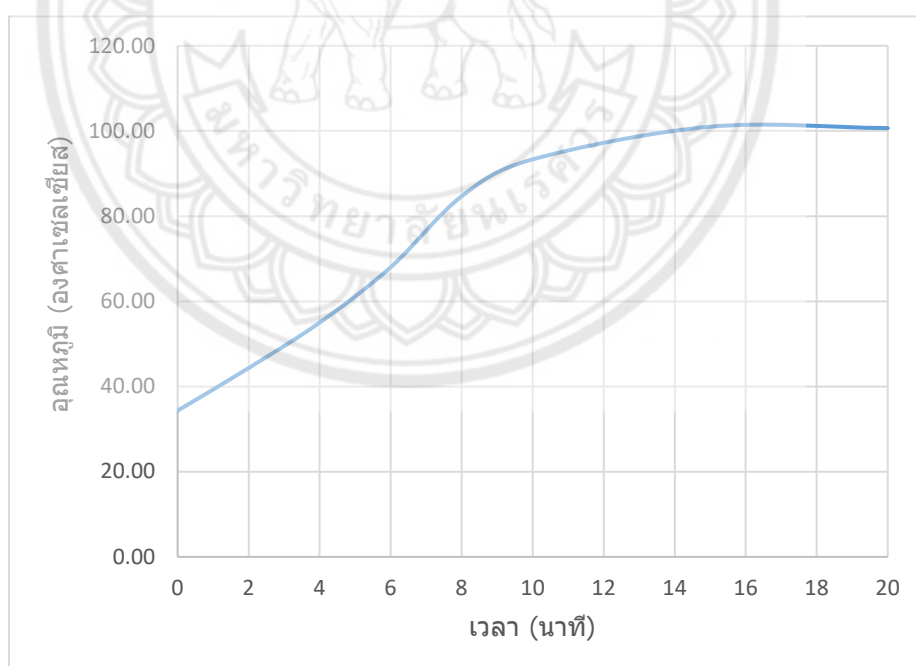
รูปที่ 3.19 เมล็ดข้าวที่ขยายโดยกล้องจุลทรรศน์

บทที่ 4

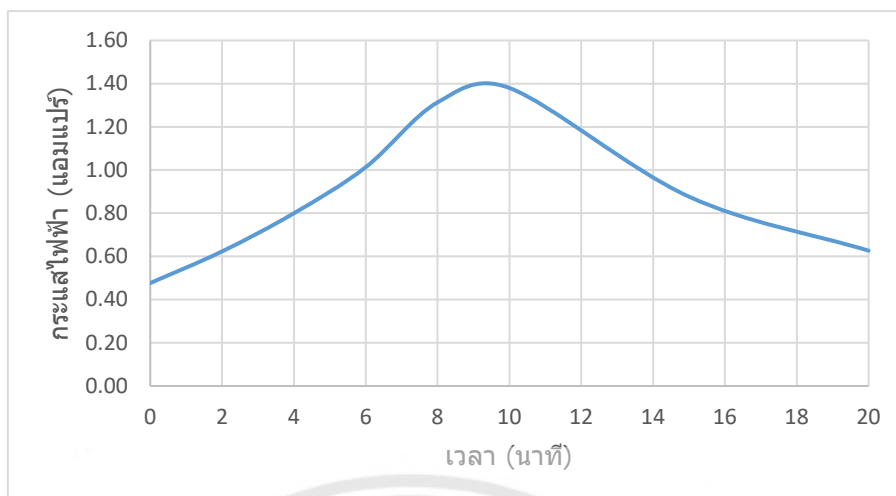
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้า เวลา ต่ออุณหภูมิ กระแสไฟ และ ดัชนีการหุง (cooking index) โดยการหุงข้าวด้วยวิธีการ Ohmic heating

จากการทดลองหุงข้าวด้วยวิธีการ Ohmic heating การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้า เวลา ที่ใช้ในการทดลอง โดยนำผลการทดลองที่ได้ทำการจดบันทึกจากนั้นหาค่าเฉลี่ยและนำมาเขียนกราฟได้ดังนี้



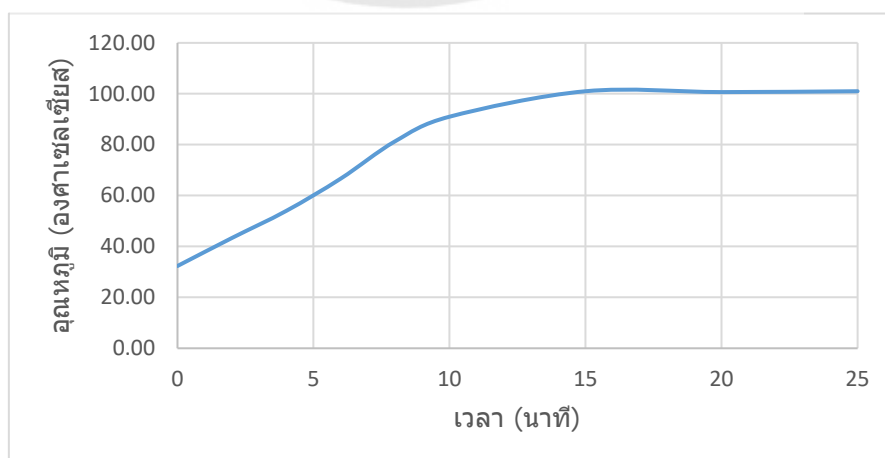
(a)



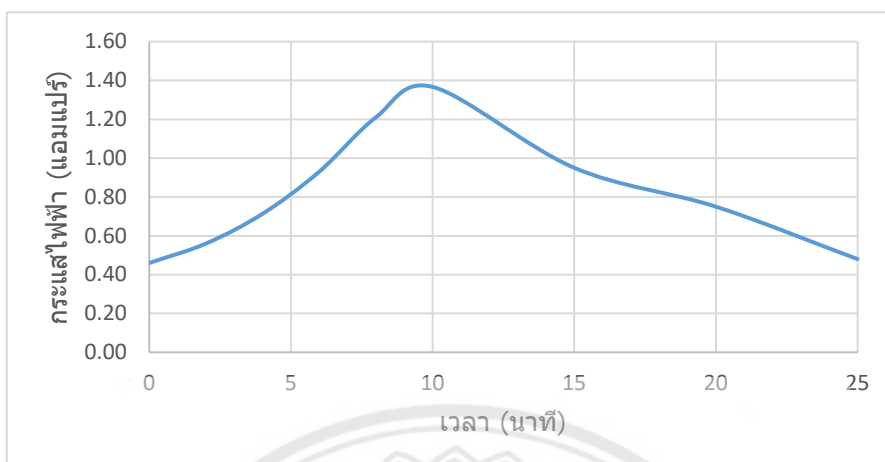
(b)

รูปที่ 4.1 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที

จากรูปที่ 4.1 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาในการทดลอง 20 นาที กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 – 15 นาทีแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 15 - 20 นาที อุณหภูมิในช่วงนี้มีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 10 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.38 แอมแปร์ หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเมื่อน้ำเริ่มเดือดน้ำที่เดือดส่วนหนึ่งจะระเหยการเป็นไอและอีกส่วนก็เดือดล้นออกจาก Ohmic cell ทำให้ปริมาณน้ำภายใน Ohmic cell น้อยลงจนเข้าสู่สภาวะปริมาณน้ำภายในจะเหลือน้อยมาก การลดลงของน้ำนั้นส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อยลง



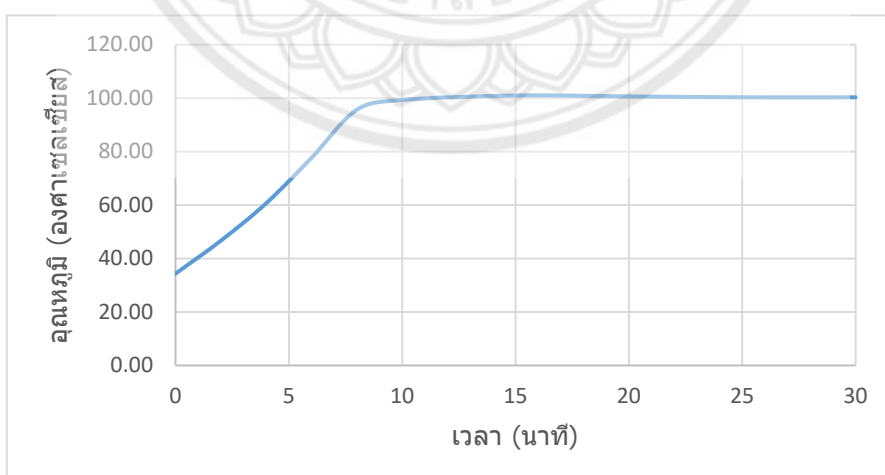
(a)



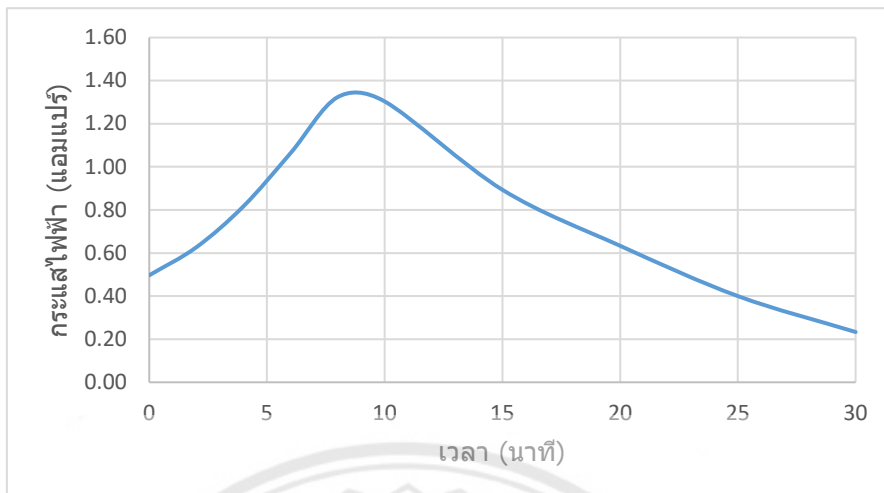
(b)

รูปที่ 4.2 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 25 นาที

จากรูปที่ 4.2 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาในการทดลอง 25 นาที กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 - 15 นาทีแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 15 - 25 นาที อุณหภูมิในช่วงนั้นมีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 10 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.37 แอมแปร์ หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน



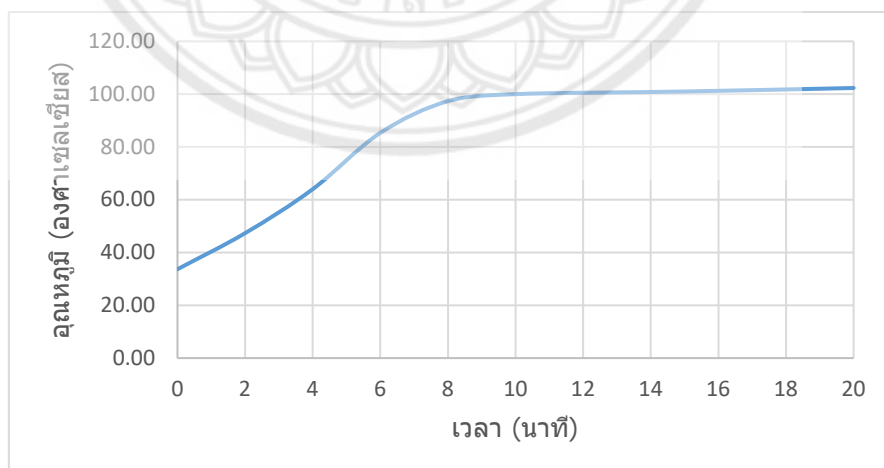
(a)



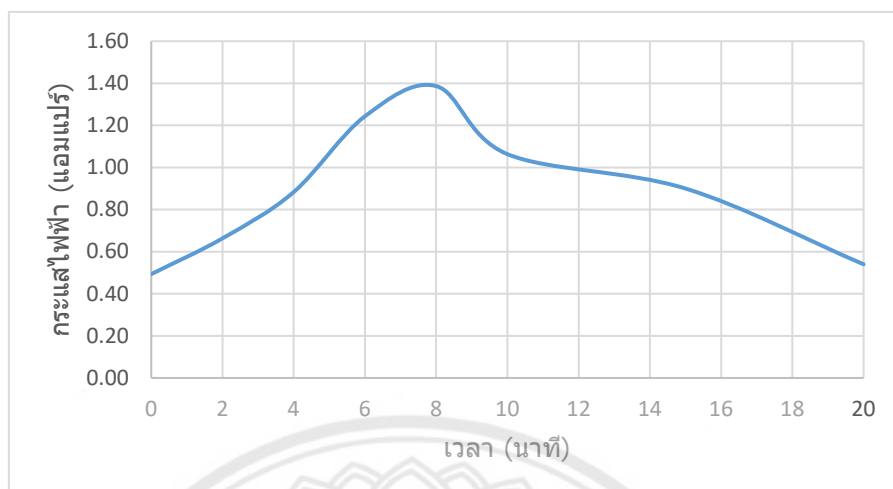
(b)

รูปที่ 4.3 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลาที่ แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 30 นาที

จากรูปที่ 4.3 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาในการทดลอง 30 นาที กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 - 10 นาทีแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 10 - 25 นาที อุณหภูมิในช่วงนั้นมีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 8 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.32 แอมแปร์ หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน



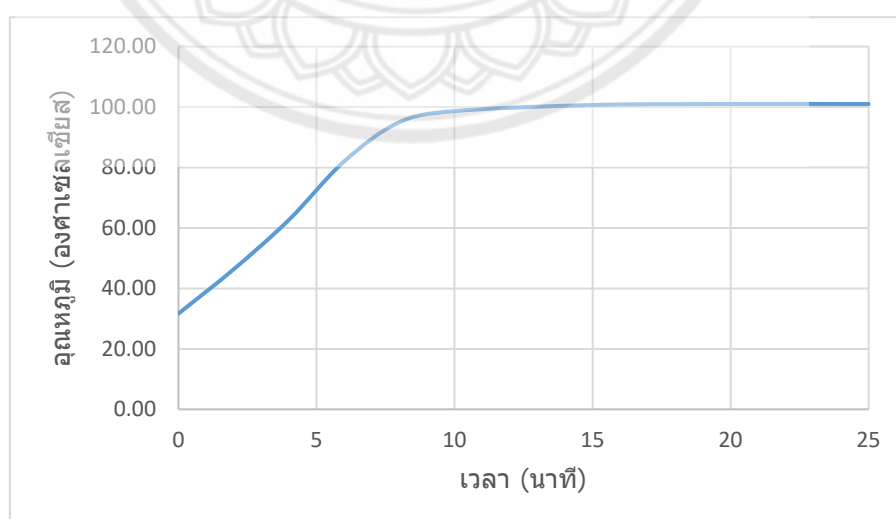
(a)



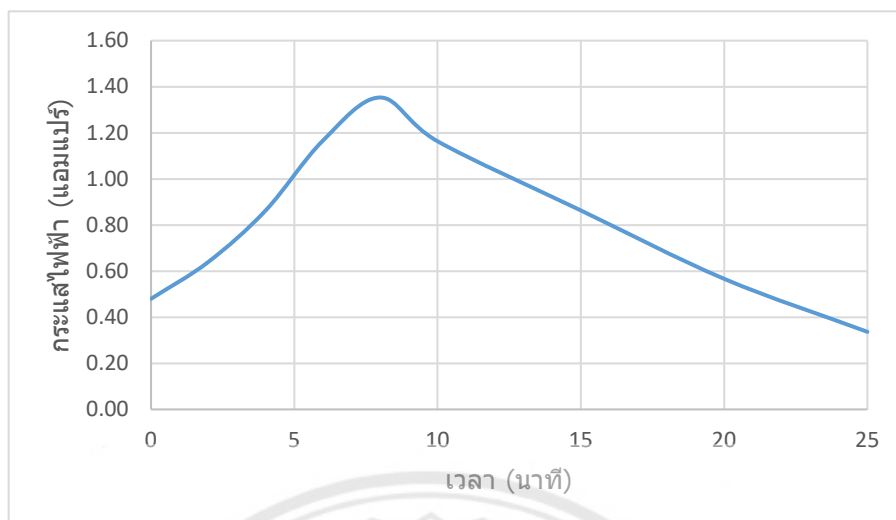
(b)

รูปที่ 4.4 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลา 20 นาที

จากรูปที่ 4.4 ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลาในการทดลอง 20 นาที กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 - 8 นาทีแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 10 - 20 นาที อุณหภูมิในช่วงนั้นมีค่าประมาณ 100 - 102 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 8 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.39 แอมแปร์ หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน



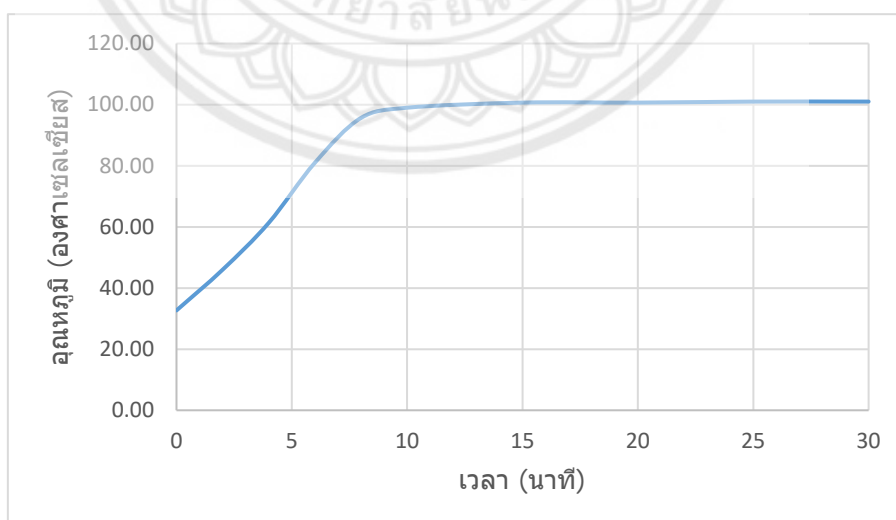
(a)



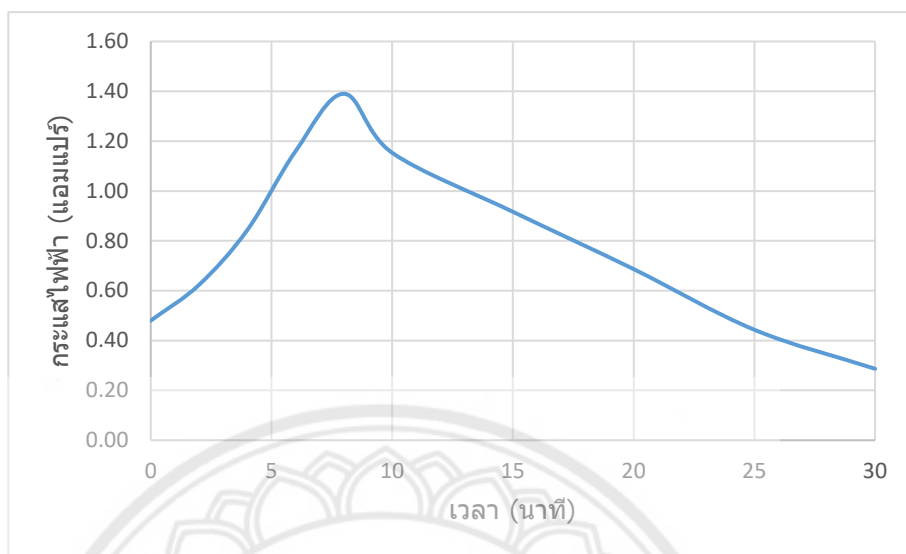
(b)

รูปที่ 4.5 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลา 25 นาที

จากรูปที่ 4.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลาในการทดลอง 25 นาที กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 - 10 นาทีแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 10 - 25 นาที อุณหภูมิในช่วงนั้นมีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 8 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.35 แอมแปร์ หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน



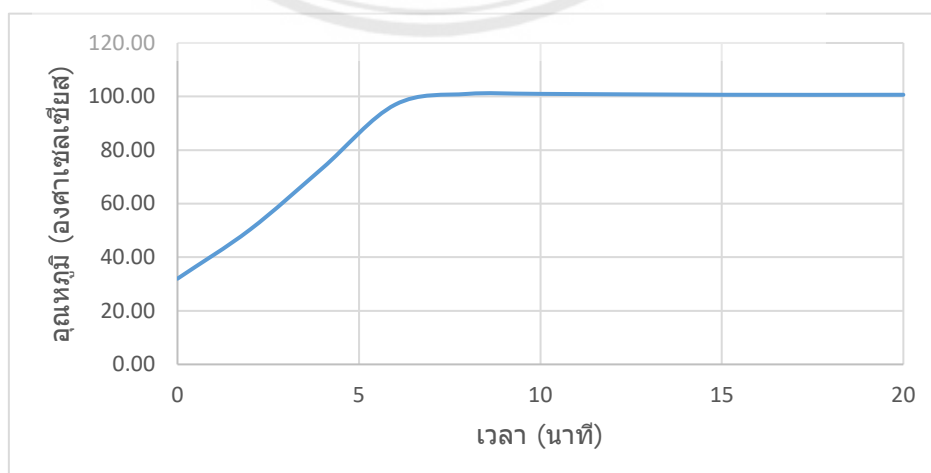
(a)



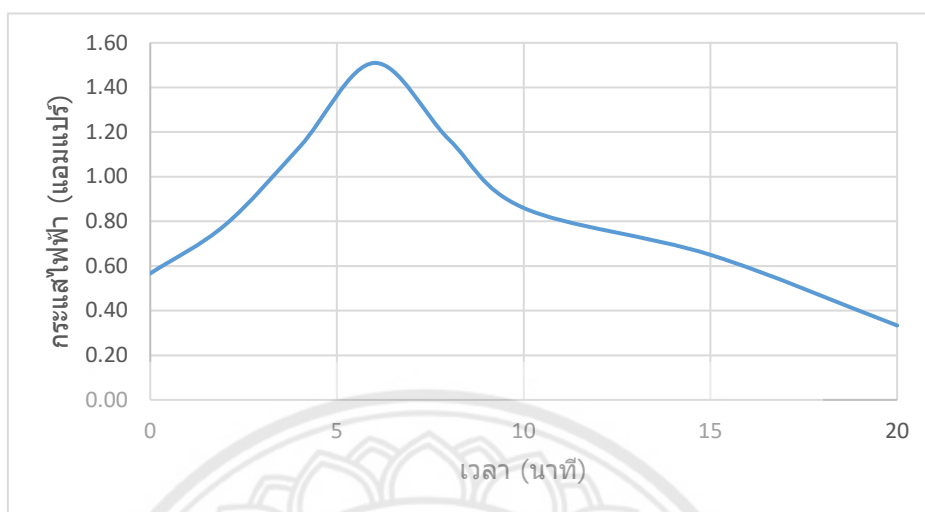
(b)

รูปที่ 4.6 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลาที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลา 30 นาที

จากรูปที่ 4.6 ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เวลาในการทดลอง 30 นาที กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 – 10 นาทีแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 10 - 30 นาที อุณหภูมิในช่วงนี้มีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 8 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.39 แอมแปร์ หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน



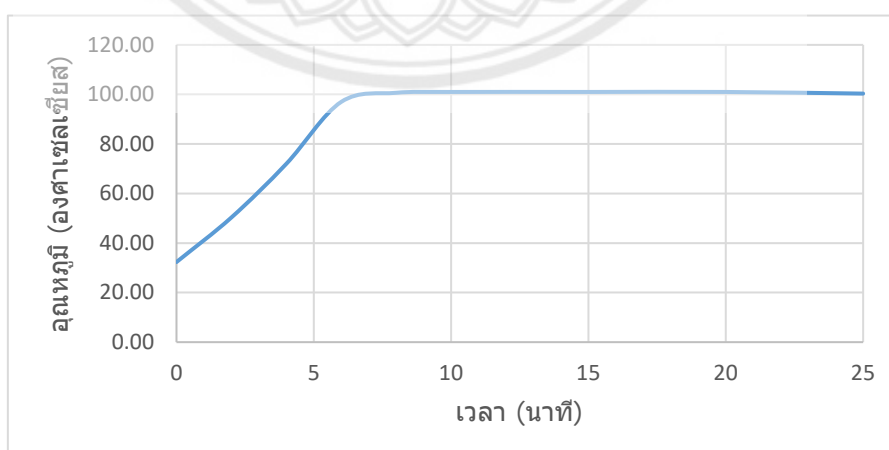
(a)



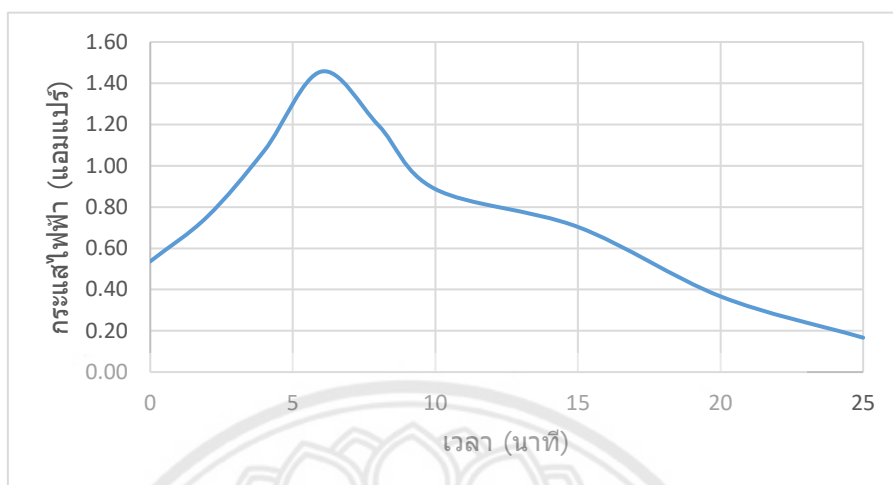
(b)

รูปที่ 4.7 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลา 20 นาที

จากรูปที่ 4.7 ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลาในการทดลอง 20 นาที กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 - 6 นาทีแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 8 - 20 นาที อุณหภูมิในช่วงนั้นมีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 6 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.51 แอมแปร์ หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน



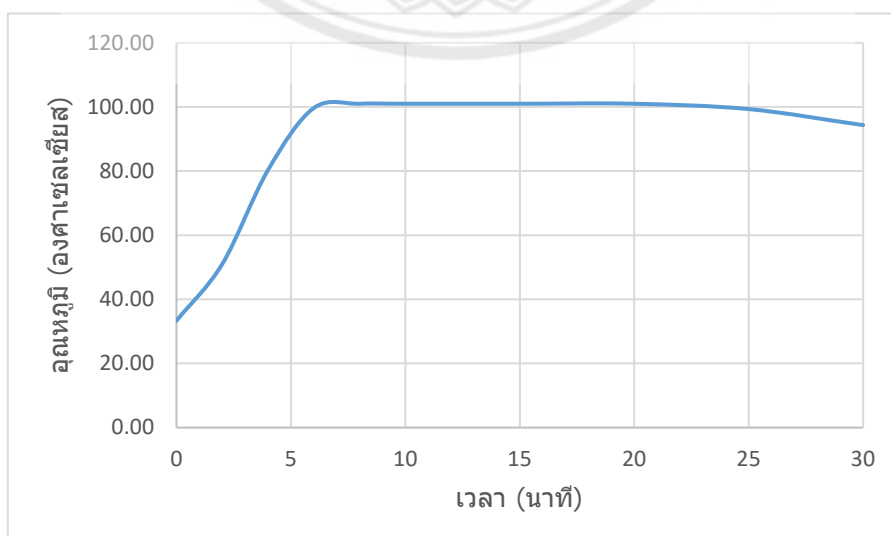
(a)



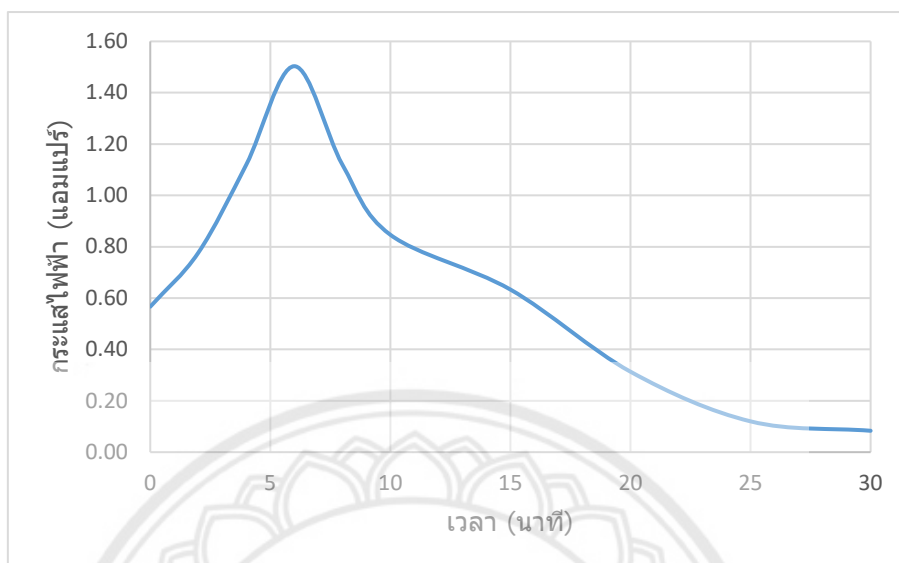
(b)

รูปที่ 4.8 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลา 25 นาที

จากรูปที่ 4.8 ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลาในการทดลอง 25 นาที กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 - 6 นาทีแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 8 - 25 นาที อุณหภูมิในช่วงนั้นมีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 6 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.46 แอมแปร์ หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน



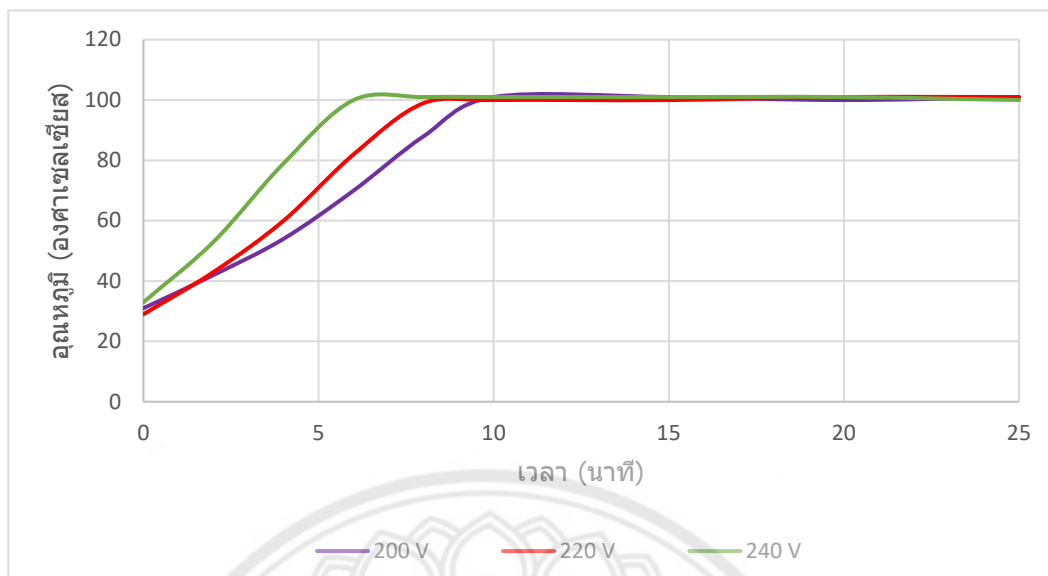
(a)



(b)

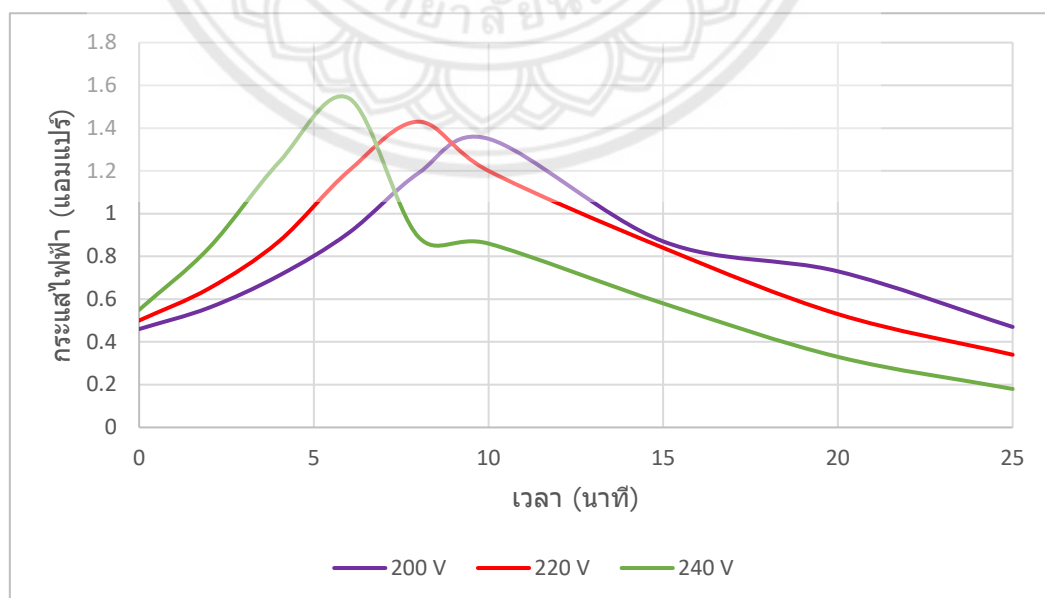
รูปที่ 4.9 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลา 30 นาที

จากรูปที่ 4.9 ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลาในการทดลอง 30 นาที กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 – 6 นาทีแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 8 - 25 นาที อุณหภูมิในช่วงนั้นมีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลดลงในช่วง 25 - 30 นาที เป็นผลมาจากปริมาณน้ำภายใน Ohmic cell มีน้อยหรือแห้งไปจึงทำให้การไหลของกระแสไฟฟ้าน้อย ไม่เกิดความร้อนภายใน Ohmic cell อุณหภูมิจึงลดลงจากการถ่ายเทความร้อนออกไปภายนอก ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 6 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.50 แอมแปร์ หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน



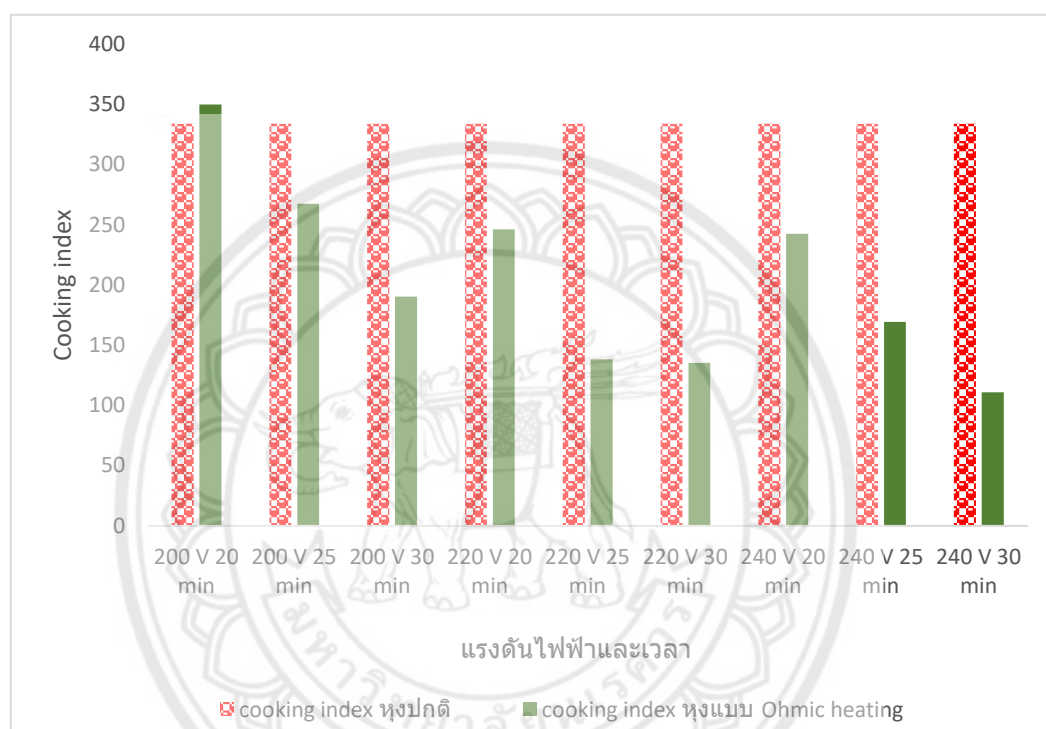
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบแนวโน้มของอุณหภูมิที่แรงดันไฟฟ้า 200 220 และ 240 โวลต์

จากรูปที่ 4.10 ได้นำกราฟแนวโน้มของอุณหภูมิที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน 3 ค่ามาเปรียบเทียบ คือ 200 220 และ 240 โวลต์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 25 นาที พบว่าในช่วงเวลา 10 นาทีแรกอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่แรงดันไฟฟ้า 240 มีค่าสูงสุดรองลงมาก็คือ 220 โวลต์ และ 200 โวลต์มีอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิต่ำสุดเนื่องจากที่แรงดันไฟฟ้าสูงจะสามารถทำให้กระแสไฟไหลผ่านได้มากกว่าจึงส่งผลให้เกิดความร้อนได้สูงกว่า หลังจากนั้นช่วงเวลาที่ 10 - 25 นาที อุณหภูมิของทั้ง 3 แรงดันไฟฟ้ามีแนวโน้มคงที่ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 100 - 101 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบแนวโน้มของกระแสไฟที่แรงดันไฟฟ้า 200 220 และ 240 โวลต์

จากรูปที่ 4.11 ได้นำกราฟแนวโน้มของกระแสไฟที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน 3 ค่ามาเปรียบเทียบ คือ 200 220 และ 240 โวลต์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 25 นาที พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟที่แรงดัน 240 มีอัตราเพิ่มสูงสุดรองลงมาคือ 220 โวลต์ และอัตราการเพิ่มของกระแสไฟต่ำสุดคือ 200 โวลต์ เนื่องจากมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับรูปที่ 4.10 เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากจึงส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลได้มากเช่นกัน หลังจากนั้นเมื่อกระแสไฟทุกแรงดันเพิ่มขึ้นจนสูงสุดจะมีแนวโน้มลดลงเป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณน้ำภายใน Ohmic cell

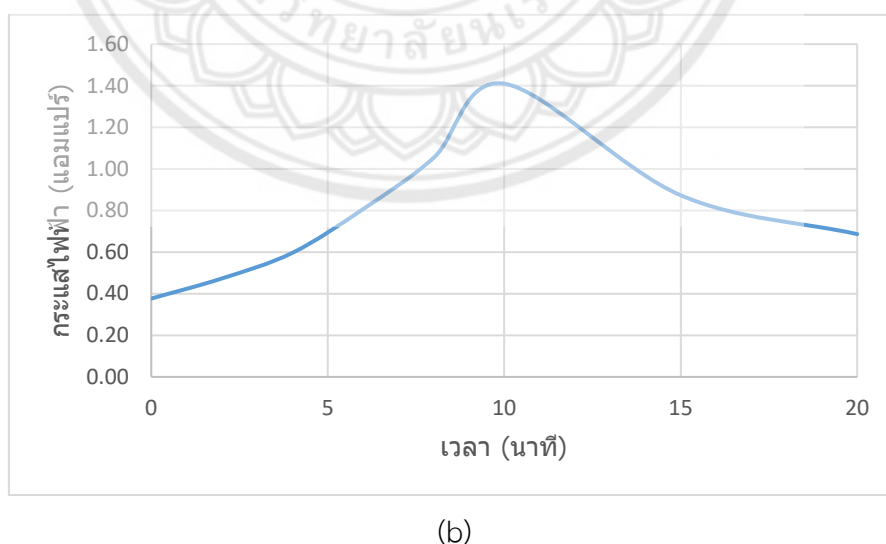
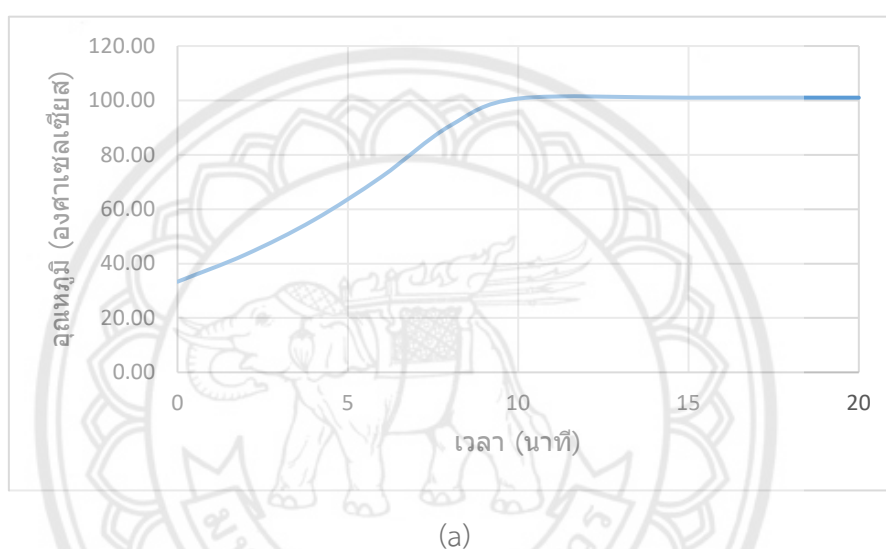


รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบดัชนีการหุง (cooking index) หุงด้วยวิธีปกติกับหุงด้วยวิธี Ohmic heating

จากรูปที่ 4.12 หลังจากทำการทดลองเสร็จแล้ว ได้ทำการคำนวณหาค่าดัชนีการหุงของการทดลองแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าดัชนีการหุงที่หุงด้วยวิธีปกติ จากกราฟจะเห็นว่าที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาในการทดลอง 20 นาที มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด จึงทำการเลือกแรงดันไฟ 200 โวลต์ เวลา 20 นาที ไปใช้ในการทดลองและวิเคราะห์ผลในขั้นต่อไป

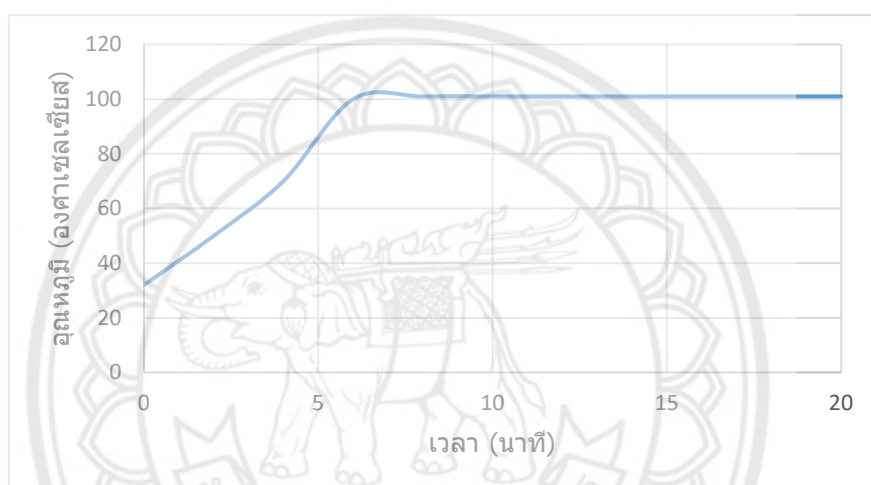
4.2 อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้า เวลา อัตราส่วนข้าวกับน้ำ ต่อดูณหภูมิ กระแสไฟ และดัชนีการหุง (cooking index) โดยการหุงข้าวด้วยวิธีการ Ohmic heating

ในหัวนี้จะทำการวิเคราะห์อุณหภูมิ กระแสไฟ และดัชนีการหุง เหมือนกับหัวข้อที่แล้วโดยมีอัตราส่วนข้าวกับน้ำมาเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการทดลอง ซึ่งได้ทำการเลือกแรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาในการทดลอง 20 นาที จากการทดลองครั้งแรกมาใช้ในการทดลอง จากนั้นบันทึกผลการทดลอง หาค่าเฉลี่ยและนำมาเขียนกราฟได้ดังนี้

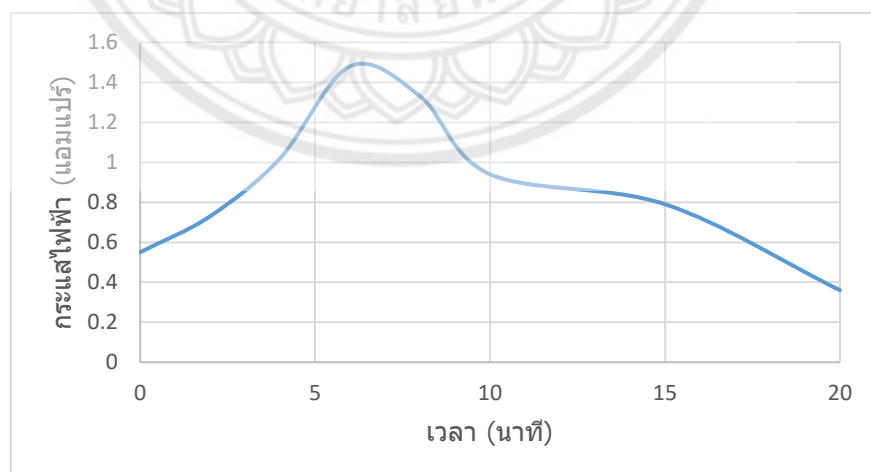


รูปที่ 4.13 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลาที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2

จากรูปที่ 4.13 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาในการทดลอง 20 นาที อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2 กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 – 8 นาทีแรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 10 - 20 นาที อุณหภูมิในช่วงนั้นมีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 10 นาที ค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1.41 แอมแปร์ หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเมื่อน้ำเริ่มเดือดน้ำที่เดือดส่วนหนึ่งจะระเหยการเป็นไอและอีกส่วนก็เดือดล้นออกจาก Ohmic cell ทำให้ปริมาณน้ำภายใน Ohmic cell น้อยลงจนข้าวสุกปริมาณน้ำภายในจะเหลือน้อยมาก การลดลงของน้ำนั้นส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อยลง



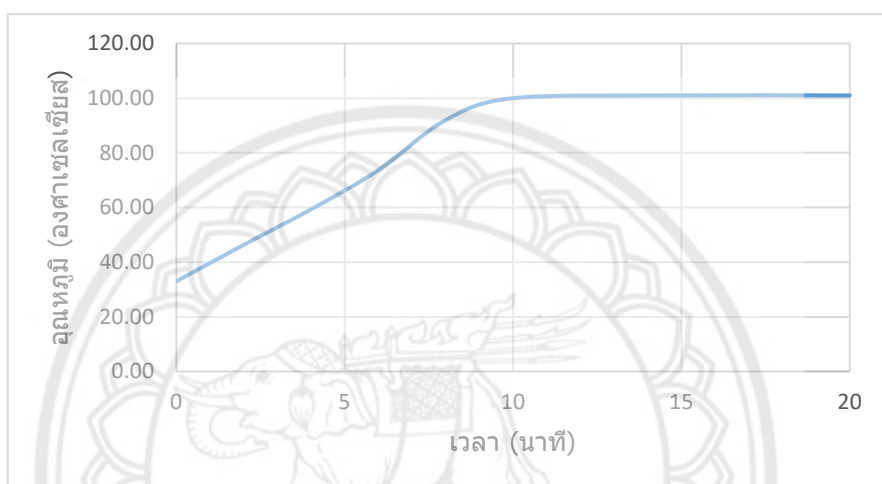
(a)



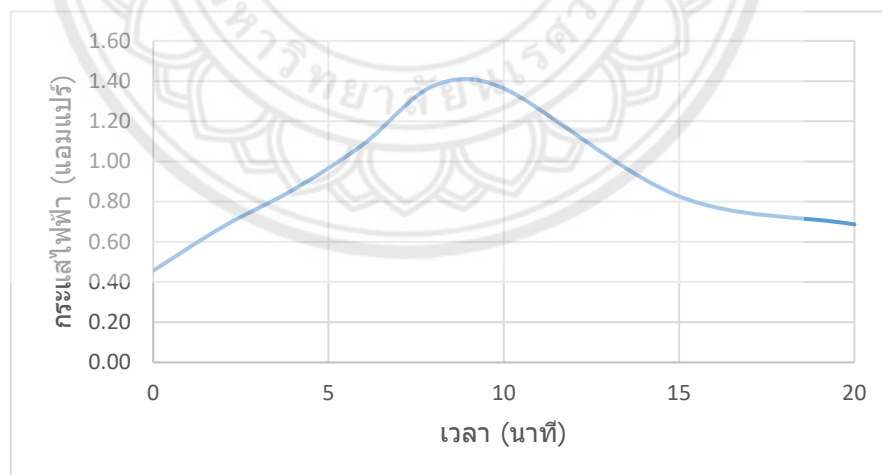
(b)

รูปที่ 4.14 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและเวลาที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5

จากรูปที่ 4.14 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาในการทดลอง 20 นาที อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 – 6 นาที แรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 6 - 20 นาที อุณหภูมิในช่วงนี้มีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 6 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.48 แอมแปร์ หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน



(a)

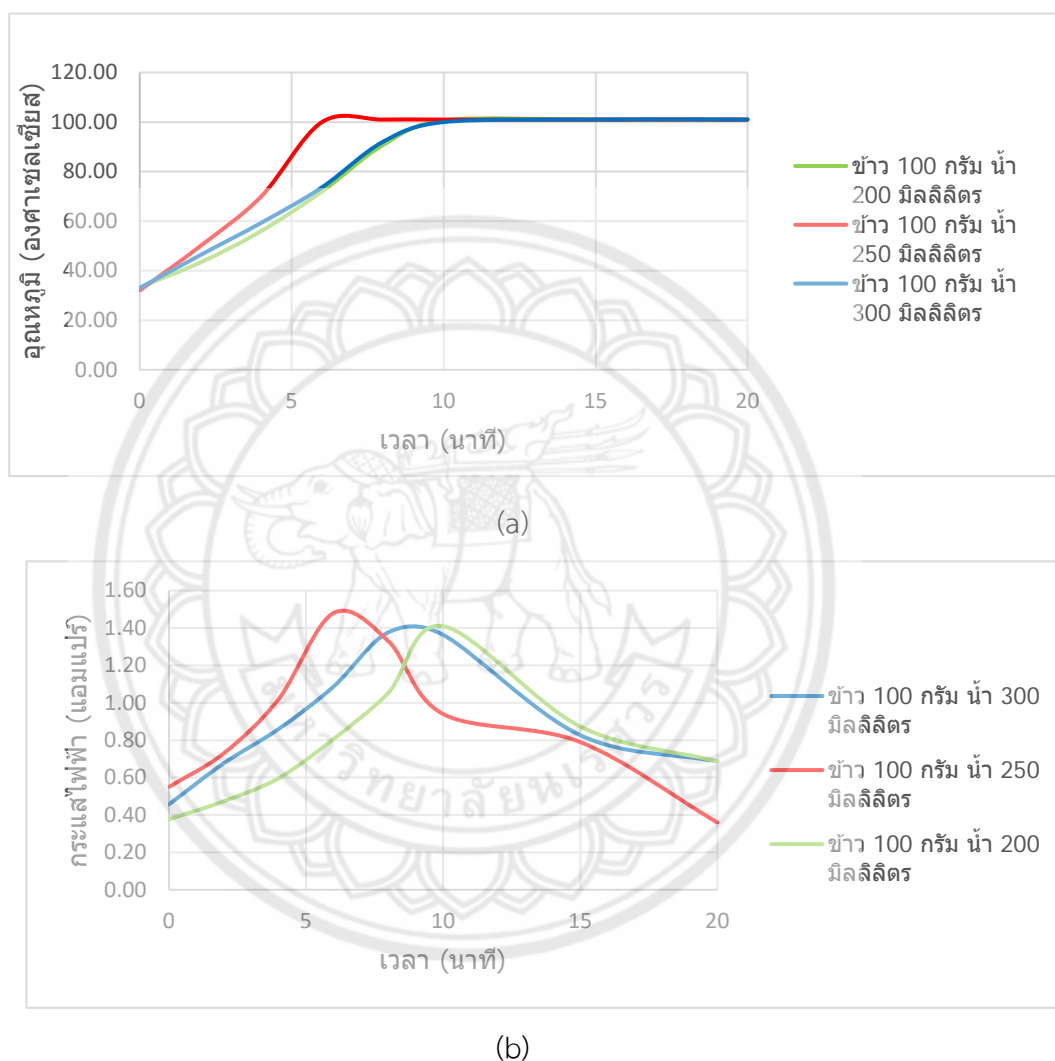


(b)

รูปที่ 4.15 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (b) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟและเวลา ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:3

จากรูปที่ 4.15 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาในการทดลอง 20 นาที อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:3 กราฟ (a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 0 – 10 นาที

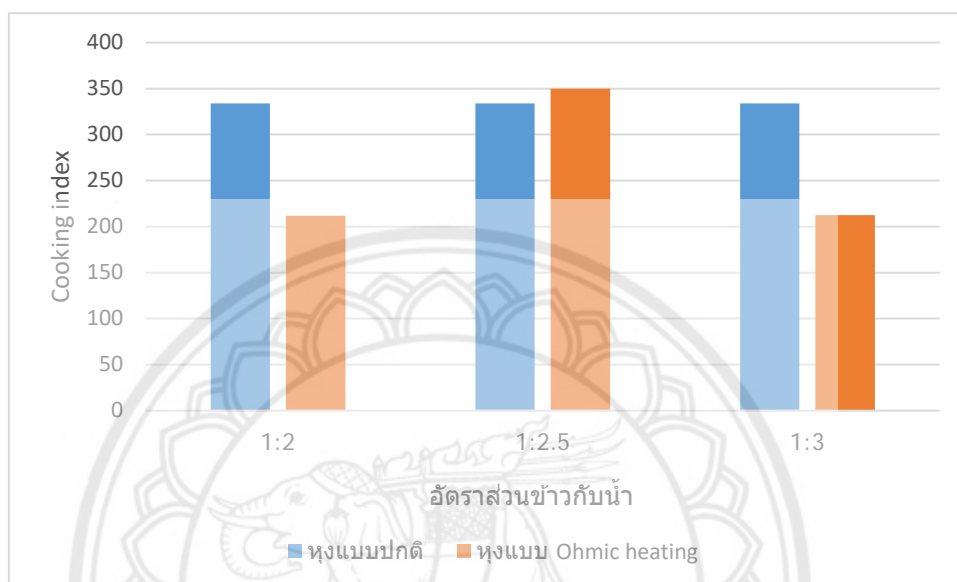
แรก จากนั้นจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 10 - 20 นาที อุณหภูมิในช่วงนั้นมีค่าประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วนแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าจากกราฟ (b) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 8 นาที ค่ากระแสไฟเท่ากับ 1.38 แอมแปร์ หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน



รูปที่ 4.16 (a) เปรียบเทียบอุณหภูมิที่อัตราส่วนข้าวกับน้ำต่างกัน (b) เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่อัตราส่วนต่างกัน ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 20 นาที

จากรูปที่ 4.16 ได้นำกราฟแนวโน้มของอุณหภูมิที่อัตราส่วนข้าวกับน้ำต่างกัน 3 ค่ามาเปรียบเทียบคือ 1:2 1:2.5 และ 1:3 แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที กราฟ (a) พบว่าในช่วงเวลา 10 นาทีแรกอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่อัตราส่วนข้าว 1:2.5 มีค่าสูงสุดจากความชันของกราฟที่มีความชันมากกว่าอัตราส่วนอื่น รองลงมาคือ 1:3 และ 1:2 มีอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิต่ำสุด ในช่วง 10 - 20 อุณหภูมิจะเริ่มคงที่ประมาณ 100 - 101 องศาเซลเซียส ส่วน

กราฟ (b) พบว่าอัตราการเพิ่มของกระแสไฟฟ้ามักที่อัตราส่วนข้าวกับน้ำคือ 1:2.5 1:3 และ 1:2 ตามลำดับหลังจากที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วก็จะลดลงมาเรื่อย ๆ ผลมาจากการลดลงของน้ำภายใน Ohmic cell เช่นกัน

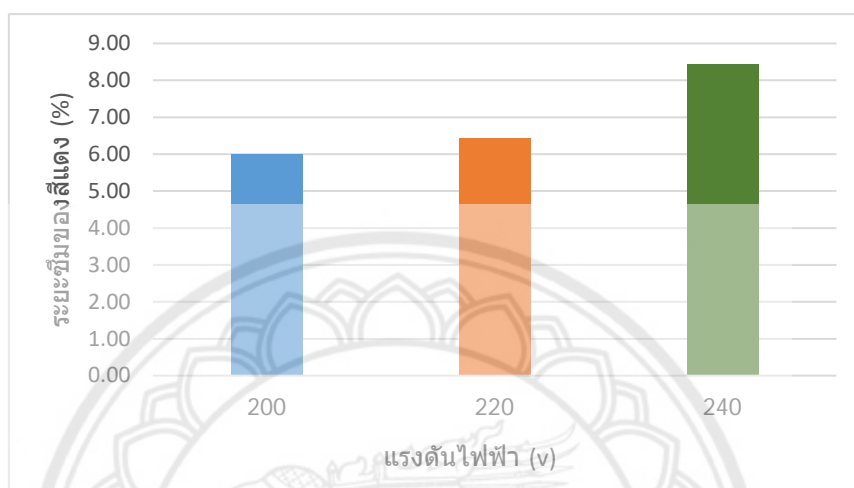


รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบดัชนีการหุง (cooking index) หุงด้วยวิธีปกติกับหุงด้วยวิธี Ohmic heating

จากรูปที่ 4.17 หลังจากที่ทำการศึกษาทดลองเสร็จแล้ว ได้ทำการคำนวณหาค่าดัชนีการหุง ของทุก การทดลองแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าดัชนีการหุงที่หุงด้วยวิธีปกติ จากกราฟ จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน 1:2.5 มีค่าดัชนีการหุงใกล้เคียงกับการหุงแบบปกติมากที่สุดดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการหุงข้าวด้วยวิธีการ Ohmic heating นั้นควรใช้แรงดันไฟ 200 โวลต์ เวลา 20 นาทีในการหุงจึงจะเหมาะสมเพราะมีค่าดัชนีการหุงที่ใกล้เคียงกับการหุงแบบปกติ

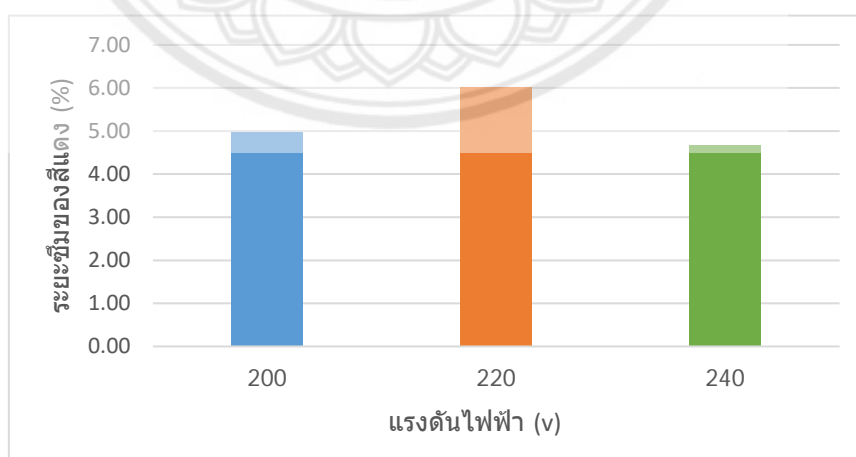
4.3 การดูดซับของเมล็ดข้าว

จากการทดลองได้นำสีผสมอาหารหยดลงไป 1 หยดก่อนที่จะเริ่มการทดลองเพื่อศึกษาการดูดซับของเมล็ดข้าว หลังจากนั้นบันทึกผลการทดลองและเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาซึมได้ดังนี้



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบการดูดซับสีแดงของข้าวที่เวลาในการทดลอง 20 นาที

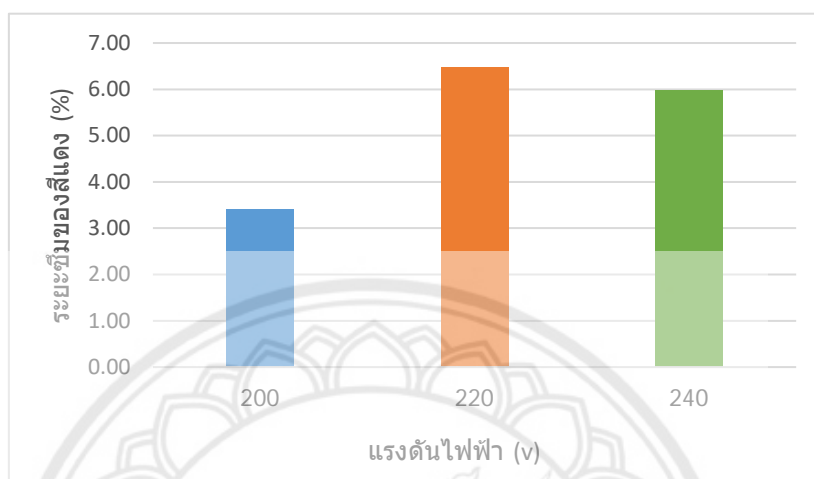
จากรูปที่ 4.18 ได้นำการดูดซับสีของข้าวมาเปรียบเทียบกันโดยเวลาในการทดลอง 20 นาที แรงดันไฟฟ้าต่างกันคือ 200 220 และ 240 โวลต์ พบว่าการดูดซับสีของของข้าวที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ที่ดีที่สุดรองลงมาคือ 220 และ 200 โวลต์ มีค่าการดูดซับสีเท่ากับ 8.46% 6.43% และ 6% ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบการดูดซับสีแดงของข้าวที่เวลาในการทดลอง 25 นาที

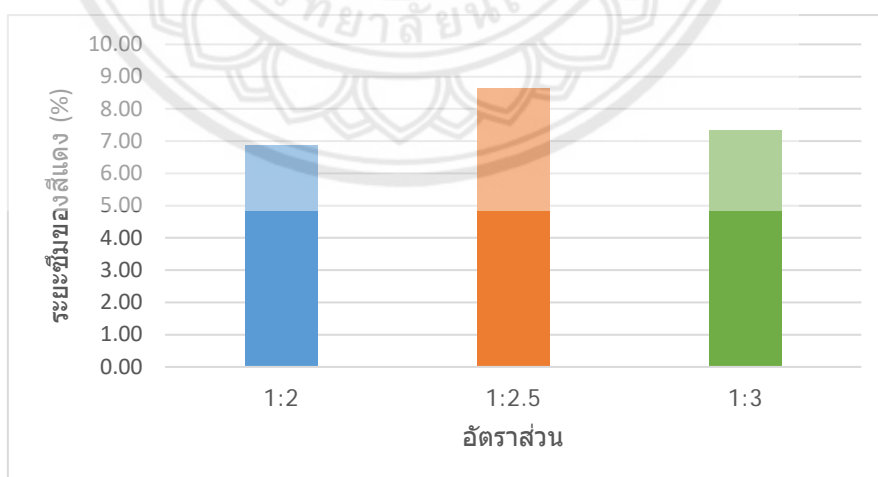
จากรูปที่ 4.19 ได้นำการดูดซับสีของข้าวมาเปรียบเทียบกันโดยเวลาในการทดลอง 25 นาที แรงดันไฟฟ้าต่างกันคือ 200 220 และ 240 โวลต์ พบว่าการดูดซับสีของของข้าวที่แรงดันไฟฟ้า 220

โวลต์ดีที่สุตรองลงมาคือ 200 และ 240 โวลต์ มีค่าการดูดซับสีเท่ากับ 6.03% 4.97% และ 4.68% ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบการดูดซับสีแดงของข้าวที่เวลาในการทดลอง 30 นาที

จากรูปที่ 4.20 ได้นำการดูดซับสีของข้าวมาเปรียบเทียบกับโดยเวลาในการทดลอง 30 นาที แรงดันไฟฟ้าต่างกันคือ 200 220 และ 240 โวลต์ พบว่าการดูดซับสีของข้าวที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ดีที่สุตรองลงมาคือ 240 และ 200 โวลต์ มีค่าการดูดซับสีเท่ากับ 6.48% 5.98% และ 3.41% ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบการดูดซับสีแดงเวลาในการทดลอง 30 นาที แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์

จากรูปที่ 4.21 ได้นำการดูดซับสีของข้าวมาเปรียบเทียบกับโดยเวลาในการทดลอง 30 นาที แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ อัตราส่วนต่างกันพบว่าอัตราส่วน 1:2.5 การดูดซับของสีดีที่สุตรองลงมาคือ 1:3 และ 1:2 มีค่าการดูดซับของสีเท่ากับ 8.62% 7.33% และ 6.88 % ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลของโครงการการศึกษาการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ซึ่งได้ศึกษาค่าแรงดันไฟฟ้า เวลาและอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ ที่ใช้หุงข้าวว่ามีผลต่อคุณลักษณะของเมล็ดข้าว และการดูดซับของเมล็ดข้าวอย่างไร สามารถสรุปผลได้ตามขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

5.1.1 การทดลองค่าดัชนีการหุงข้าวระหว่างวิธีโอห์มมิกกับวิธีหุงข้าวแบบปกติ

5.1.1.1 การหุงข้าวโดยวิธีโอห์มมิกและวิธีปกติที่อัตราข้าว 1 ส่วน ต่อน้ำ 2.5 ส่วน โดยวิธีโอห์มมิกใช้แรงดันไฟฟ้า 200 220 240 V และเวลา 20 25 30 นาที พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 200 V เวลา 20 นาที มีอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าต่ำสุดและให้ค่าดัชนีการหุงเท่ากับ 349.89 ใกล้เคียงกับวิธีปกติที่สุด โดยค่าดัชนีการหุงวิธีปกติเท่ากับ 333.89 มีผลต่างค่าดัชนีการหุงของวิธีโอห์มมิกและวิธีปกติเท่ากับ 16

5.1.1.2 การหุงข้าวที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่อัตราส่วน 1:2 1:2.5 และ 1:3 โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 200 V และเวลา 20 นาที ได้ค่าดัชนีการหุงเฉลี่ยเท่ากับ 211.66 349.89 และ 159.32 ตามลำดับ จึงพบว่าการหุงข้าวที่แรงดันไฟฟ้า 200 V และเวลา 20 นาที ที่อัตราส่วนข้าว 1 ต่อน้ำ 2.5 ให้ค่าดัชนีที่ดีที่สุดที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำทั้งหมด และใกล้เคียงกับวิธีปกติมากที่สุด

5.1.2 การทดลองการดูดซับของเมล็ดข้าว

5.1.2.1 จากการทดลองการดูดซับของเมล็ดข้าวพบว่าที่อัตราส่วนข้าว 1 ส่วน ต่อน้ำ 2.5 ส่วน มีระยะการดูดซับเฉลี่ยที่มากที่สุดซึ่งค่าเท่ากับ 8.62% โดยเป็นการทดลองที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ และเวลา 30 นาที และที่อัตราส่วนข้าว 1 ส่วน ต่อน้ำ 2 ส่วน มีระยะการดูดซับเฉลี่ยที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 6.88 % โดยเป็นการทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลา 30 นาที โดยมีผลต่างระยะการดูดซับเฉลี่ยที่มากที่สุดและน้อยสุดเท่ากับ 1.74 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองการให้ความร้อนแบบโอทมมิกสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากกว่านี้และสามารถต่อยอดการให้ความร้อนแบบโอทมมิกเพื่อใช้ในในทางอุตสาหกรรม คณะผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจที่การศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

5.2.1 เนื่องจากคณะผู้จัดทำใช้ข้าวสายพันธุ์เดียวในการทดลอง หากใช้ข้าวสายพันธุ์อื่น ๆ อาจส่งผลให้ค่าดัชนีการหุงที่ใกล้เคียงและดีกว่าข้าวสายพันธุ์ สาวไห้ 35%

5.2.2 วิธีการให้ความร้อนแบบโอทมมิกอาจเหมาะกับอุตสาหกรรมอาหารด้านอื่น ๆ ที่มีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์สูง ๆ มากกว่าในโครงการนี้ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจศึกษาและพัฒนาต่อไป

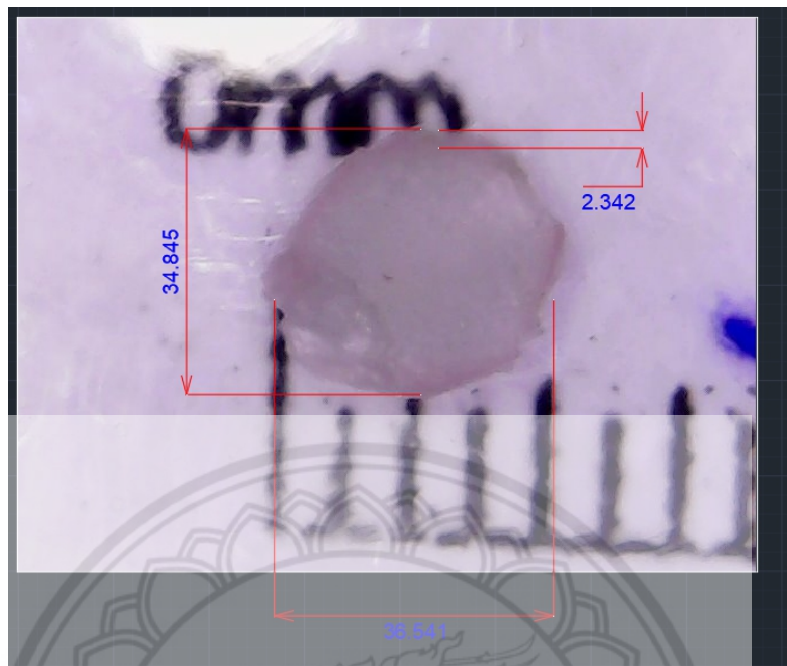
5.2.3 การให้ความร้อนแบบโอทมมิกอาจต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าเศรษฐศาสตร์มากกว่าวิธีการให้ความร้อนแบบอื่น ๆ เพราะใช้ต้นทุนสูงในการสร้างและจัดซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ



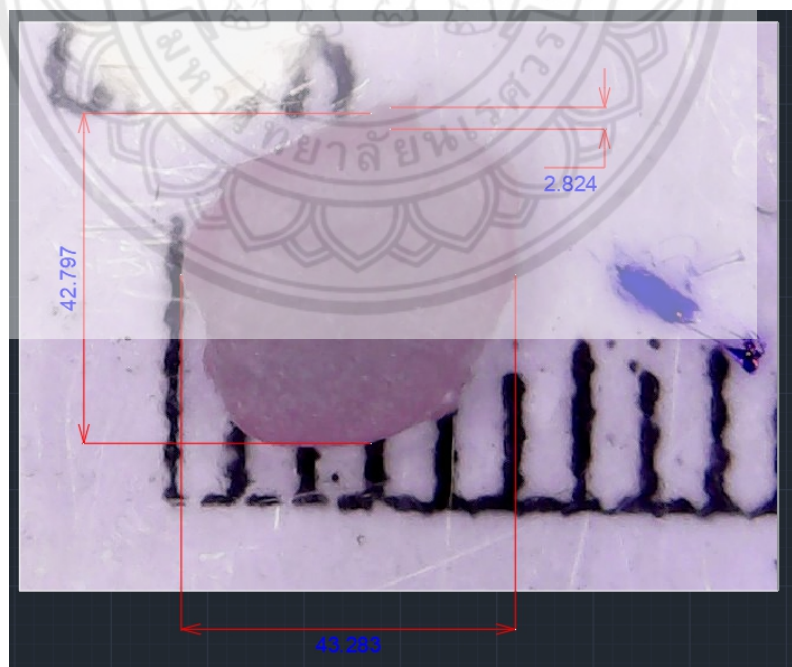
เอกสารอ้างอิง

- [1] ฟิสิกส์ Dot ครูแอ๊ด. (2555). สนามไฟฟ้า. สืบค้นเมื่อ 28 กันยายน 2562, จาก <https://Physicskruadd.wordpress.com/2012/03/12/electric-field/>
- [2] ละมุล วิเศษ. (2555). ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านการหุงต้มของข้าว (Factors Affecting the Cooking Qualities of Rice). วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 17(1), 172-180.
- [3] M. V. S. Ferreira, L. P. Cappato, R. Silva, R. S. Rocha, R. P.C. Neto, M. I. B. Tavares, E. A. Esmerino, M. Q. Freitas, R. C. Bissagio, S. Ranadheera, R. S. L. Raices, M. C. Silva, A. G. Cruz. (2019). Processing raspberry-flavored whey drink using ohmic heating: Physical, thermal and microstructural considerations. Food Research International, 123, 20-26.
- [4] H. Bozkurt, F. Icier. (2010). Ohmic cooking of ground beef: Effects on quality. Journal of Food Engineering, 96, 481-490.
- [5] J. Stancl, R. Zitny. (2010). Milk fouling at direct ohmic heating. Journal of Food Engineering, 99, 437-444.
- [6] J. Y. Shim, S. H. Lee, S. J. Jun. (2010). Modeling of ohmic heating patterns of multiphase food products using computational fluid dynamics codes. Journal of Food Engineering, 99, 136-141.
- [7] H. Darvishi, M. H. Khostaghaza, G. Najafi. (2013). Ohmic heating of pomegranate juice: Electrical conductivity and pH change. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 12, 101-108.
- [8] K. Kanjanapongkul. (2017). Rice cooking using ohmic heating: Determination of electrical conductivity, water diffusion and cooking energy. Journal of Food Engineering, 192, 1-10.
- [9] S. M. B. Hashemia, M. R. Mahmoudi, R. Roohi, I. Torres, J. A. Saraiva. (2019). Statistical modeling of the inactivation of spoilage microorganisms during ohmic heating of sour orange juice. LWT - Food Science and Technology, 111, 821-828.
- [10] I. Castro, J. A. Teixeira, S. Salengke, S. K. Sastry, A. A. Vicente. Ohmic heating of strawberry products: electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 5, 27-36
- [11] P. Wongsangasri 1, S. K. Sastry. (2015). Effect of ohmic heating on tomato peeling. LWT - Food Science and Technology, 5, 269-274

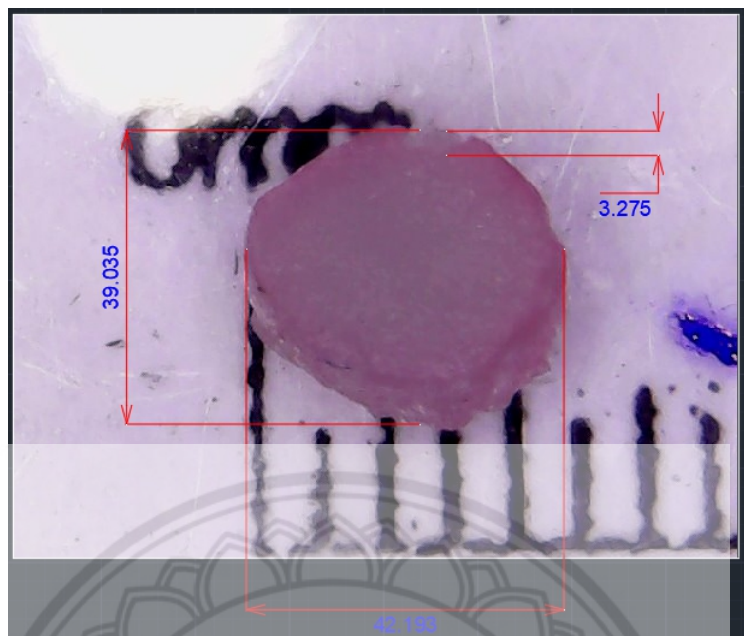




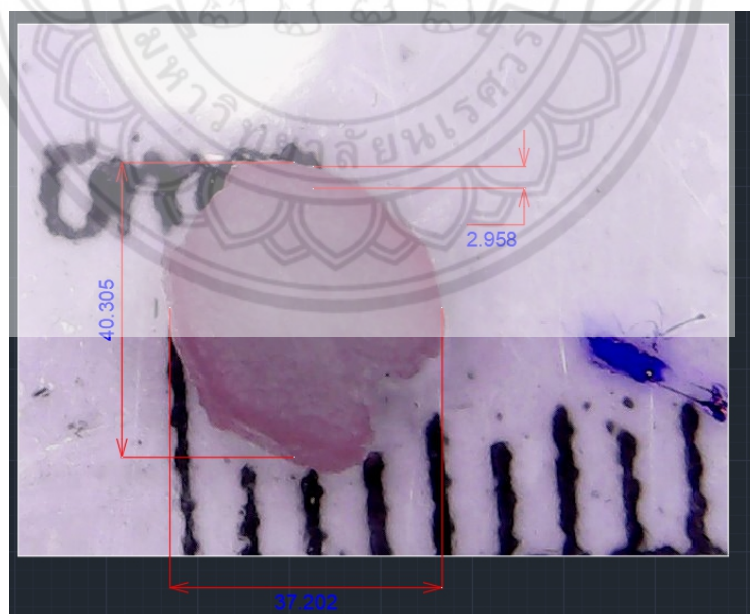
รูปที่ ก-1 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที



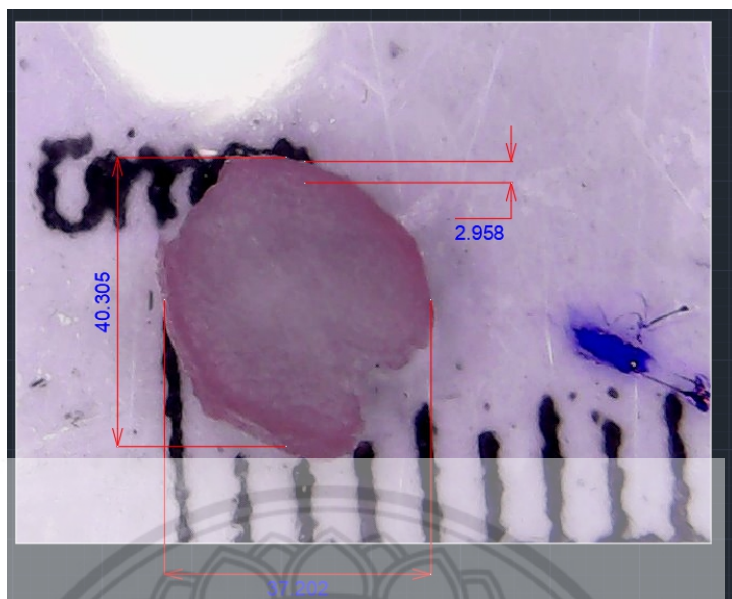
รูปที่ ก-2 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 25 นาที



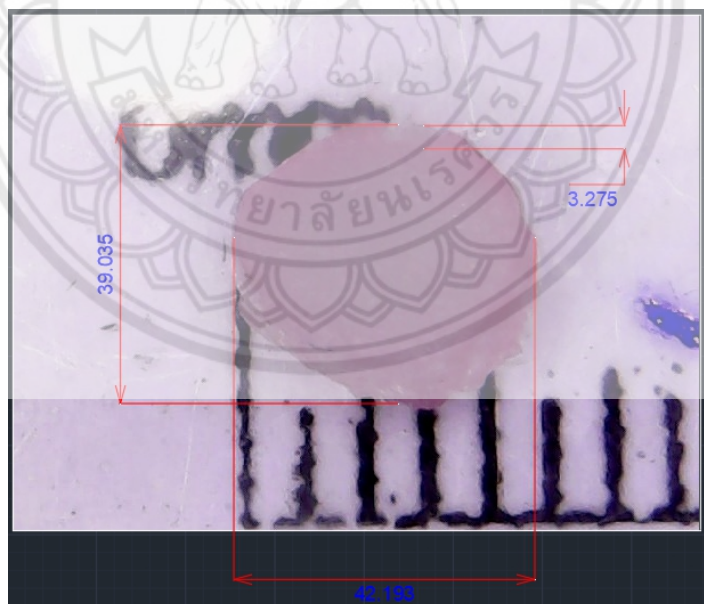
รูปที่ ก-3 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 นาที



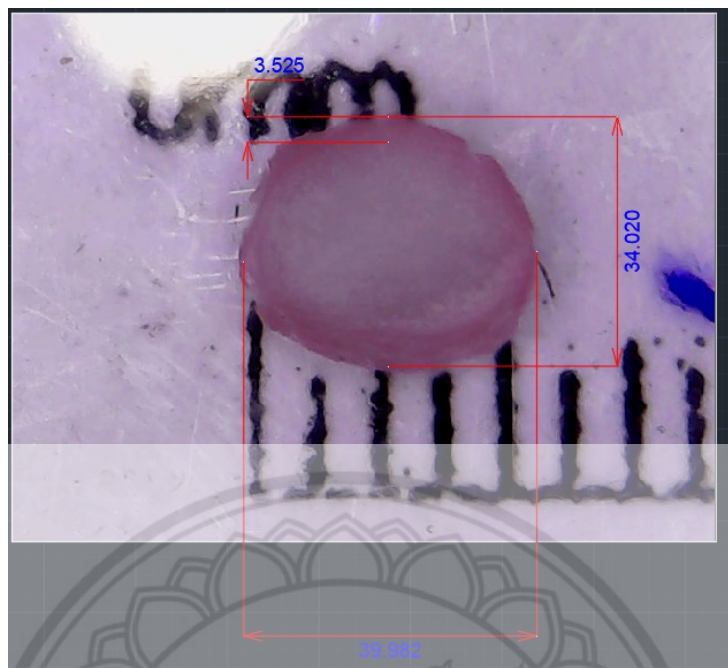
รูปที่ ก-4 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที



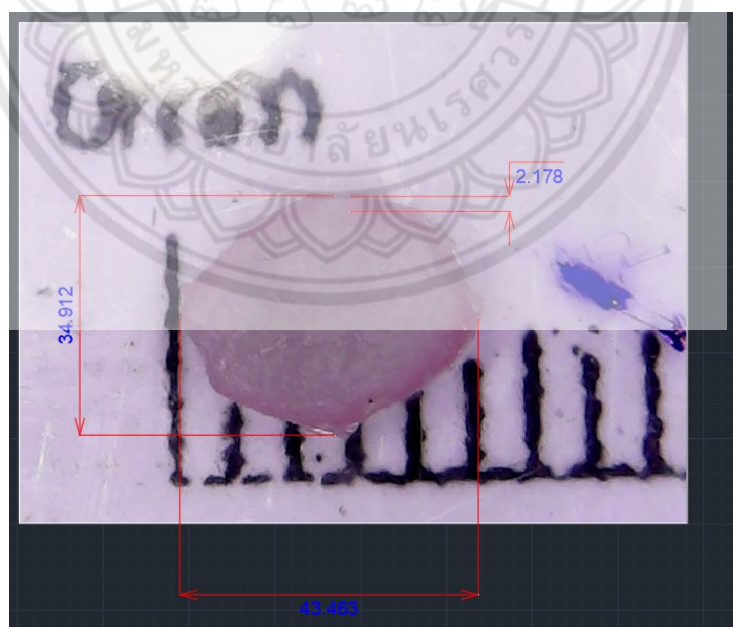
รูปที่ ก-5 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 25 นาที



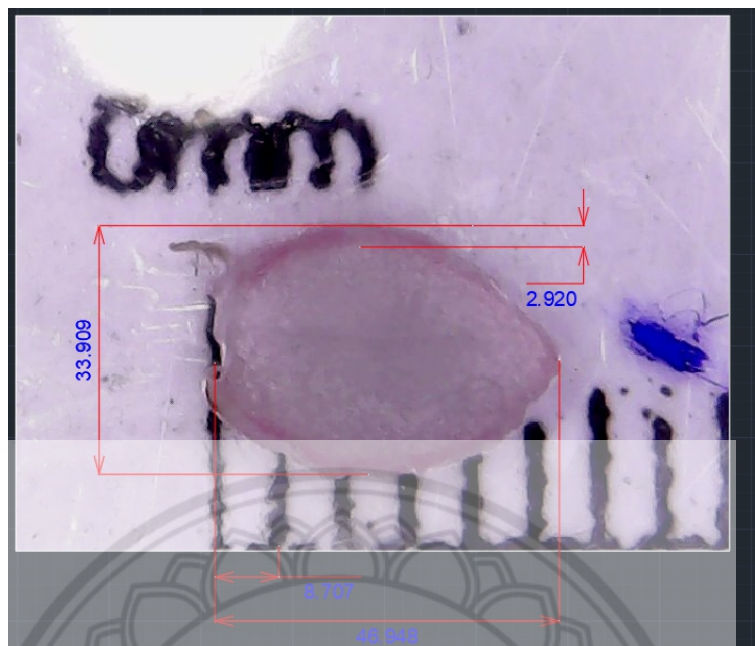
รูปที่ ก-6 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 นาที



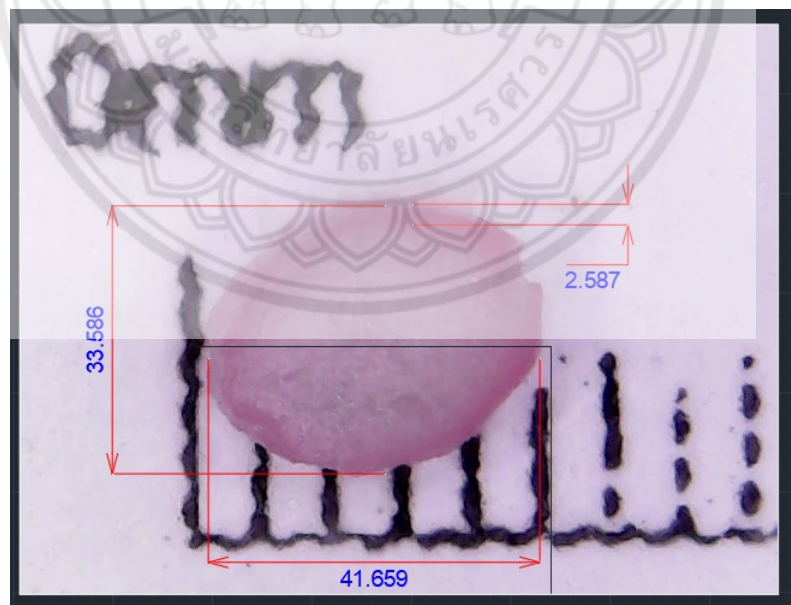
รูปที่ ก-7 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที



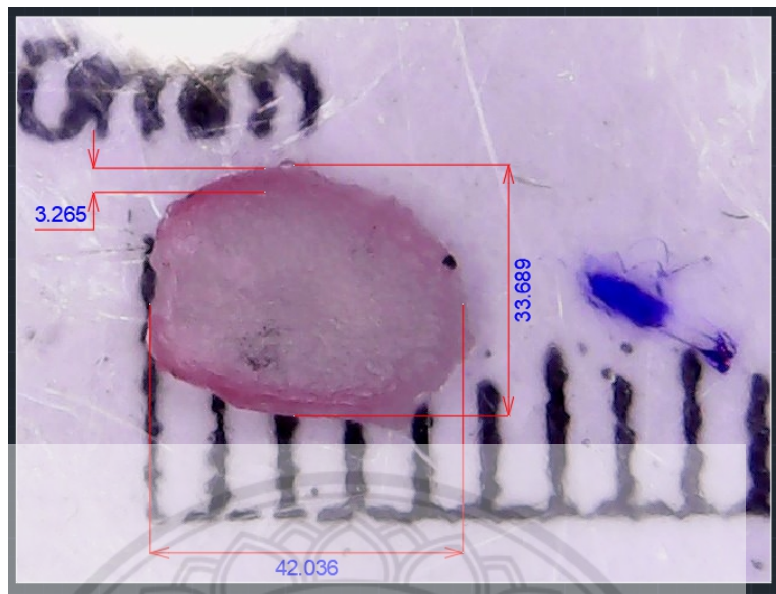
รูปที่ ก-8 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 25 นาที



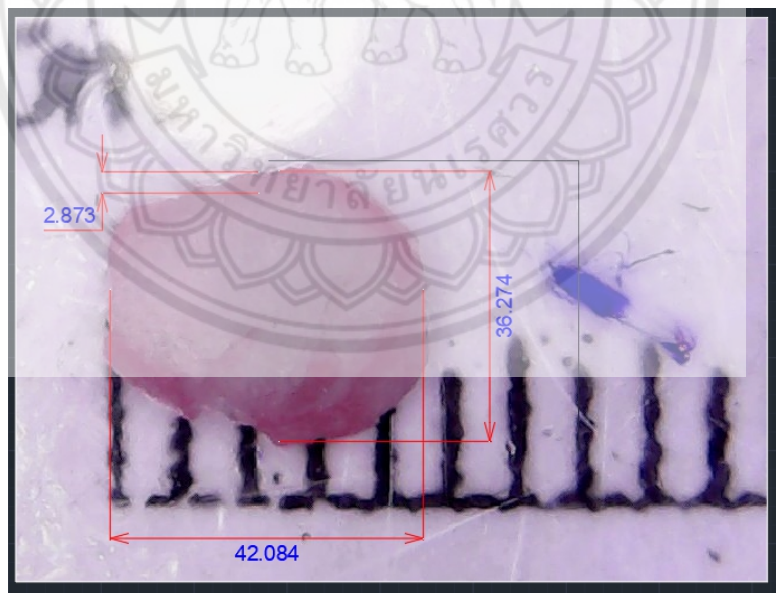
รูปที่ ก-9 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 นาที



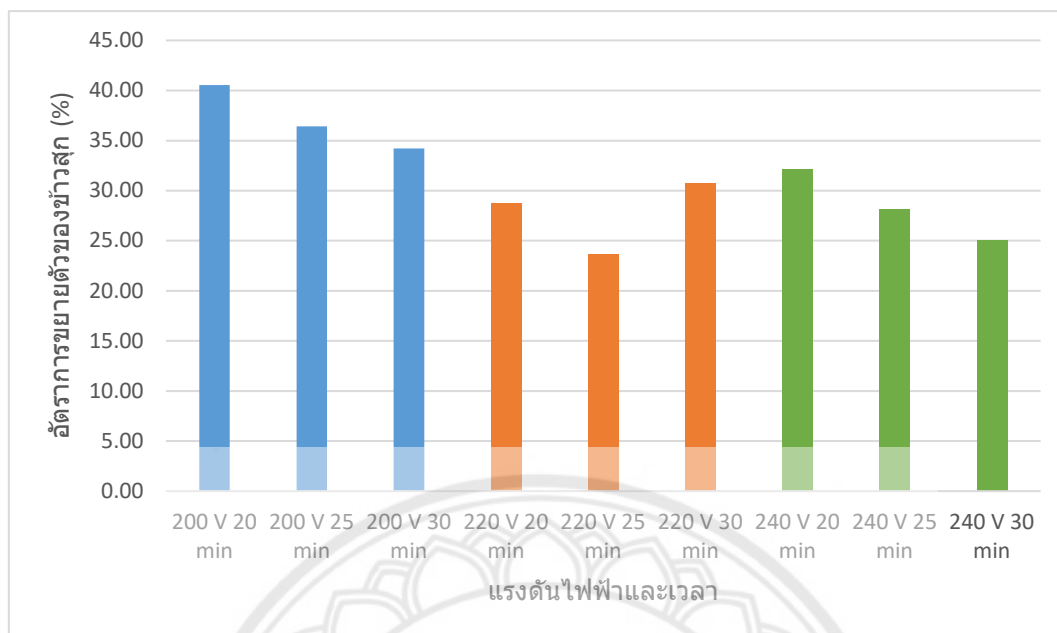
รูปที่ ก-10 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที



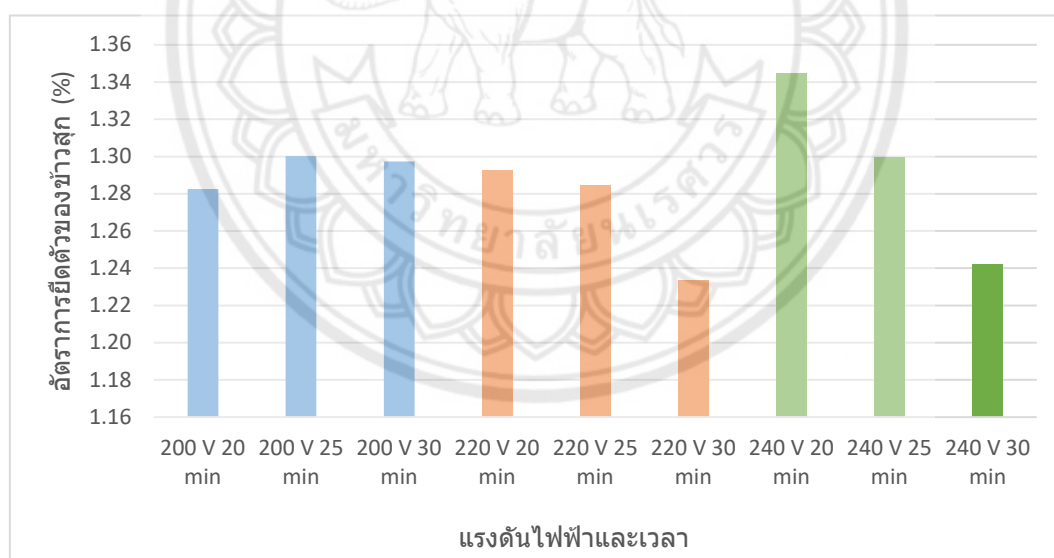
รูปที่ ก-11 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:2.5 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที



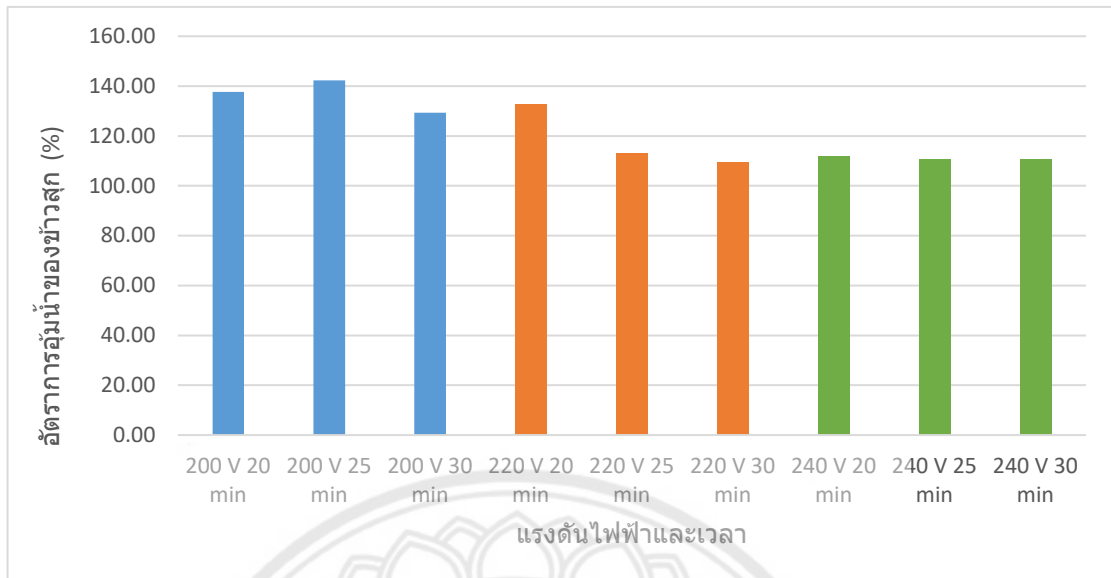
รูปที่ ก-12 ผลการทดลองหุงข้าวด้วยวิธี Ohmic heating อัตราส่วนข้าวกับน้ำ 1:3 ที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์เวลาที่ใช้ในการทดลอง 20 นาที



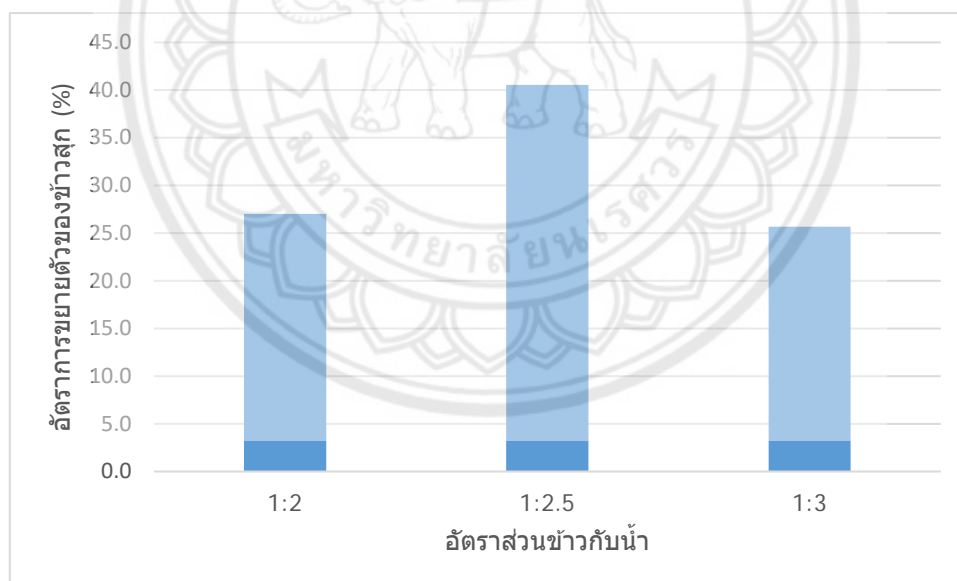
รูปที่ ก-13 อัตราส่วนการขยายตัวของขี้เถ้าที่แรงดันไฟฟ้าและเวลาในการทดลองต่างกัน



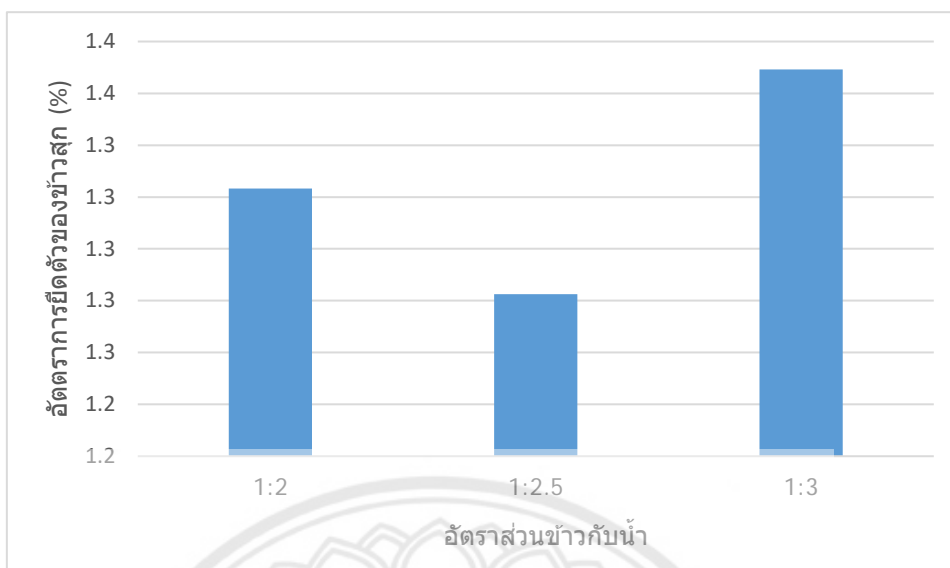
รูปที่ ก-14 อัตราส่วนการยี้ตัวของขี้เถ้าที่แรงดันไฟฟ้าและเวลาในการทดลองต่างกัน



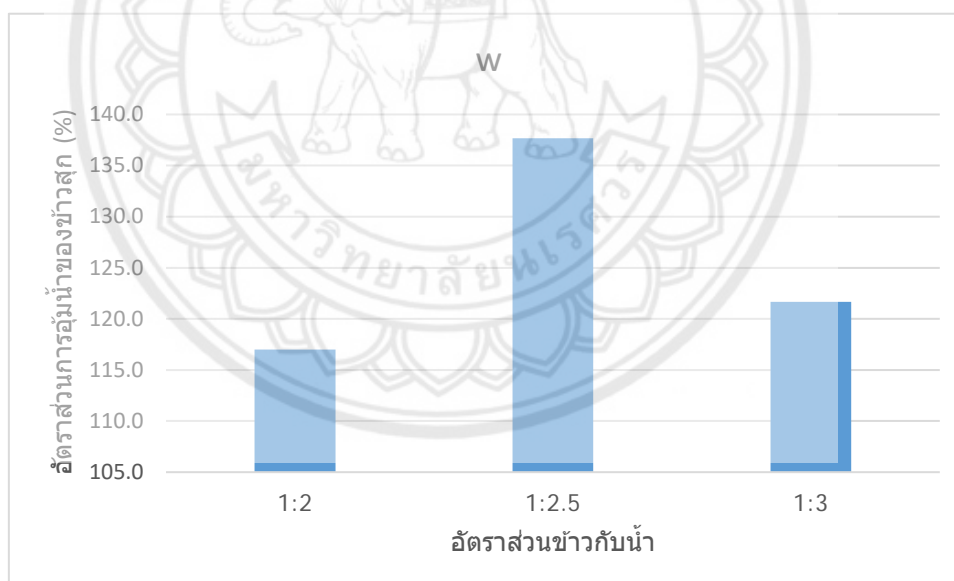
รูปที่ ก-15 อัตราส่วนการอุ้มน้ำของข้าวสากที่แรงดันไฟฟ้าและเวลาในการทดลองต่างกัน



รูปที่ ก-16 อัตราส่วนการขยายตัวของข้าวสากที่อัตราส่วนข้าวกับน้ำในการทดลองต่างกัน



รูปที่ ก-17 อัตราส่วนการยืตัวของข้าวสากที่อัตราส่วนข้าวกับน้ำในการทดลองต่างกัน



รูปที่ ก-18 อัตราส่วนการอุ้มน้ำของข้าวสากที่อัตราส่วนข้าวกับน้ำในการทดลองต่างกัน